

部品仕込型 ETO 生産における受注方式の研究
－工作機械の生産システムを事例として－

Study on Order Acquisition System
for Engineer-to-Order Production
with MTS Parts
- A Case Study on Production System
of Machine Tools -

2018年3月

早稲田大学大学院 創造理工学研究科
経営デザイン専攻
オペレーションズエンジニアリング研究

赤坂 信悟
Shingo AKASAKA

目次

第1章 序論	3
1.1 研究の背景	3
1.2 研究の目的	6
第2章 新しい受注方式の提案	7
2.1 部品仕込型 ETO 生産に関する従来研究	7
2.2 受注プロセスの問題点と対策	10
2.3 新しい受注方式の基本設計	18
第3章 製品仕様設計知識の体系化	27
3.1 顧客ニーズの定義方法（用途仕様）の体系化	29
3.2 製品仕様設計ルール of 体系化	64
第4章 受注仕様設計ロジックの開発	75
4.1 研究課題と従来研究	77
4.2 設計ロジック of 設計	80
4.3 設計ロジック of 評価	87
第5章 受注計画ロジック of 開発	91
5.1 研究課題と従来研究	91
5.2 受注計画 of 概要	92
5.3 計画ロジック of 設計	96
5.4 計画ロジック of 評価	99

第6章 提案した受注方式の効果見積	102
6.1 受注予約枠による受注率向上効果シミュレーション	102
6.2 受注方式の効果見積	106
第7章 結論	107
7.1 研究の結論	107
7.2 今後の課題	111
参考文献	112
謝辞	116
研究業績	117

第1章 序論

1.1 研究の背景

工作機械は、製造業の基盤的設備であり「マザーマシン」などと呼ばれ、工作機械の性能の優劣が生み出される製品の競争力を大きく左右し、その国の工業力全体に大きな影響力を及ぼす重要な基幹産業である。工作機械は、多数の部品の細部にわたる「摺り合わせ」が要求される製品であり、工作機械を構成する部品のサプライチェーンが充実しており、かつ、細かな摺り合わせを厭わないものづくり文化が根付いている日本国内で生産するメリットが大きいとされている。日本の工作機械メーカーは高い技術力、利便性の高いソフトウェア開発などで高い競争力を発揮しており欧州と並び世界の工作機械産業を牽引している。高機能ハイテク部品産業と並び、段突のグローバル競争力を有する数少ない産業であると言える。今後は欧州メーカーとの競争が激化するばかりでなく、アジア新興国メーカーの追い上げも予想されている。このため製品のQCD（品質、価格、納期）の競争力を維持、強化していくことが不可欠とされている [1] [2]。

本研究は、上記に示した工作機械等の ETO(受注設計)生産における受注方式を対象とする。

工作機械等の生産設備は顧客の使用環境に合わせて製品の機能や性能値を選択する必要があり、機能・性能値の組合せが莫大な数になる。このため、予め設定された製品品種ではなく、顧客の用途に合わせて機能ごとの性能値を設定した個別の受注仕様で生産する。

また、需要（注文）は、顧客企業が景気の動向を把握できて立案した設備導入計画をうけた形で起きるため、きわめて短期間の生産・納品が求められる。一方、調達するのに長い期間を要するキー部品が多数存在するため、予め部品を仕込んでおき、準備した部品を使った受注生産を行っている。

上記の ETO 生産では、生産稼働率の低さと部品在庫回転率の低さが問題とな

っている。これは、生産能力に対して十分な需要（注文の引合）があるにも関わらず、十分な量の注文がとれていないことに起因する。図 1.1 に事例企業 A 社における注文の引合に対する受注実績を示す。

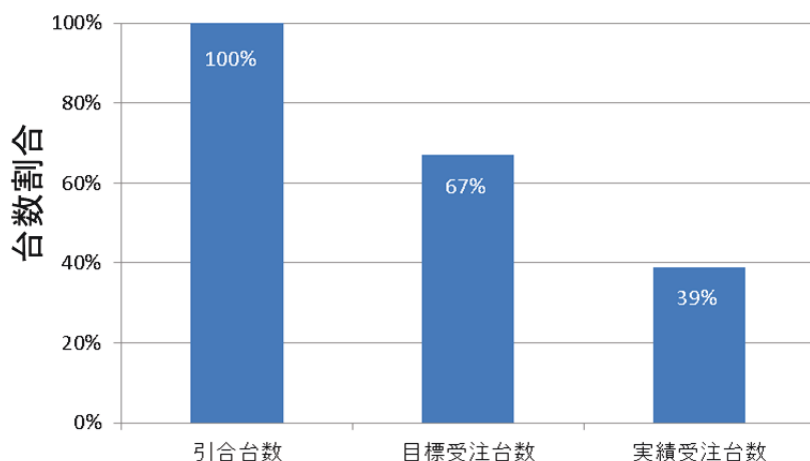


図 1.1 引合台数と目標受注台数および受注実績台数（A 社 2015 年）

図 1.2 に A 社 2014/11～2016/7 の受注および失注案件データに基づく失注率とその原因の割合を示す。失注もしくは大幅納期遅延など製品供給上問題のあった割合は 63%であり、納期が合わずに失注している（33%）、基幹部品が不

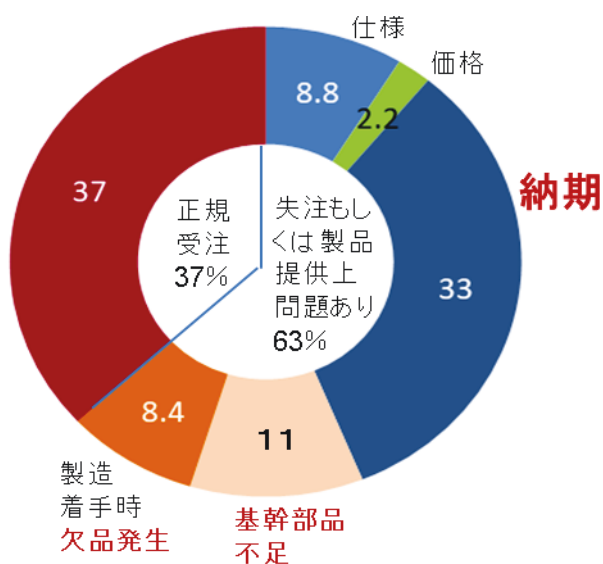


図 1.2 失注率と失注原因割合（A 社 2014/11～2016/7）

足し注文に対応できなかった（11%）、或いは受注後の製造着手時に部品欠品に

より問題が発生した（8.4％）となっている。

目標とする注文がとれない理由は、まず第一に、引合を受けてから受注仕様と納期を提案するまでに時間がかかりすぎ、短納期要求の顧客に対応できないことが挙げられる。図 1.3 に顧客要求とメーカー提案納期の差異を示す。メーカー提案納期は、引き合い開始後平均 3.7 ヶ月であるが、顧客要求に合った受注仕様を決定し受注契約をするまでの注プロセスの LT が現状 3 ヶ月もかかることにより、顧客の要求納期との大幅な乖離となっている。また、この時点では代案を出し顧客と交渉をすることもできない。

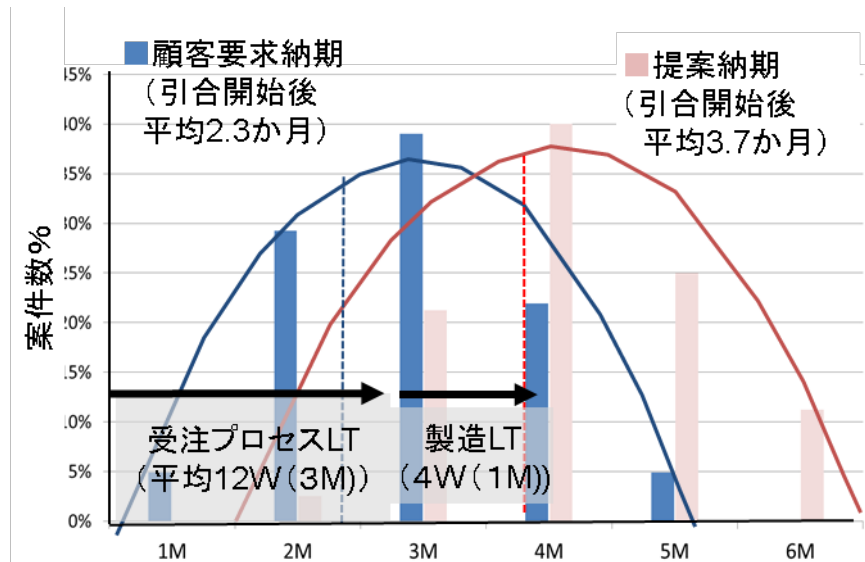


図 1.3 顧客要求とメーカー提案納期の差異（A 社 2015 年）

第二に、部品在庫の効率的な利用を考慮した注文（引合）の選択が出来ていないことが挙げられる。つまり注文（引合）毎、到着順に、個別に部品在庫の引当を行い受注案件とするため、部品在庫の利用効率の向上を考えた注文の選択ができていない。図 1.4 に A 社における部品在庫の活用状況（2015 年）を示す。少ない種類の部品不足で失注している反面、余剰の部品が売上の 5 倍も存在している。

受注仕様を提案する際には、顧客の要求を満たす仕様は複数存在するが、現状

では単一の受注仕様のみを検討している。その後、仕様案に対して部品在庫の有無を確認し、納期を提案するが、部品が一つでも不足している場合には、遅い納期の提示となってしまう。言い換えれば、部品が存在し生産可能な受注仕様があったとしてもこれに気付かず短納期の仕様案の提示が出来ない。

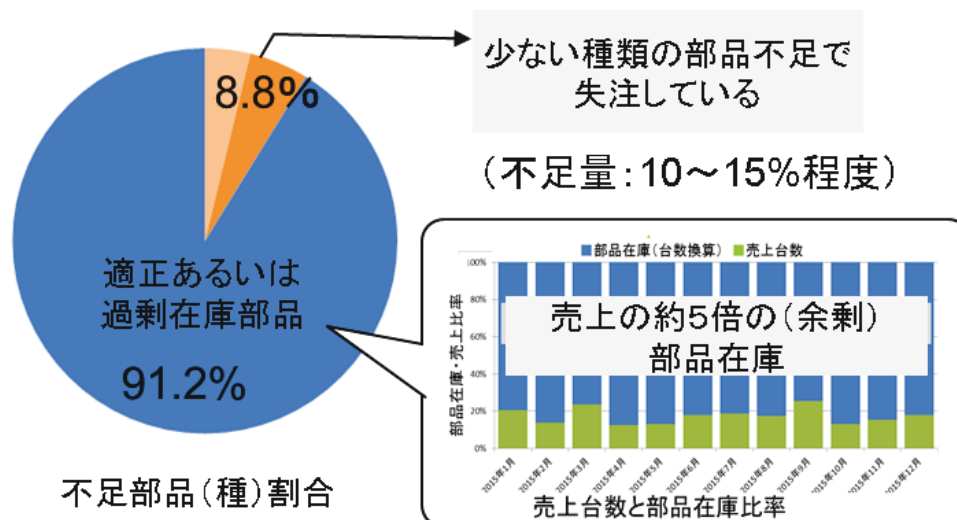


図 1.4 部品在庫の活用状況 (A 社 2015 年)

1.2 研究の目的

本研究では、前節に示した問題を解決するために、下記 (1) ~ (3) からなる新しい受注方式により、受注プロセスの短 LT 化および在庫部品を有効活用した受注仕様の提案を実現することを目的とする。

- (1) 顧客ニーズの把握から受注仕様・納期の見積までを、営業が顧客と対面しながらその場で迅速に行ない、顧客と交渉が行えるようにする。
- (2) 迅速な処理ができるように、受注処理作業の簡単化と自動化を行う。
- (3) 部品在庫の保証ができる受注仕様の提示ができるようにする。

第2章 新しい受注方式の提案

本章では、部品仕込型 ETO 生産に関する従来研究を整理し、本論文の位置づけを明らかにする。さらに、工作機械メーカーの事例データを用いた受注プロセスの問題点の分析および解決策の検討を行い、受注プロセスの営業一元化、受注仕様設計の自動化、受注仕様選択の簡素化と事前計画化が必要であることを述べる。また、解決策を具体化する新しい受注方式の基本設計を示す。

2.1 部品仕込型 ETO 生産に関する従来研究

ETO 生産は、1990 年代初頭から学術的な注目を集め、例えば、Bertrand と Muntslag (1993) によれば、ETO 生産は、部品製造、組立・機械から構成される物理的な工程の他に、見積作業を含む エンジニアリングおよび設計活動と工程設計活動からなる非物理的な工程を有する特徴を持つと定義している。Hick は英国のいくつかの典型的な ETO 企業と共同で ETO 企業を 3 種類に分類した。1) 設計、部品製造、製品組み立てのプロセスを含む。2) 部品製造を含まず、サードパーティからすべての部分を購入する。3) 設計プロセスのみを自社に保持し、製造、組み立ては委託する。

Amaro (1999) は ETO 製品を“特定の顧客の要求を満たすために製造され、そのため、個別の設計または大幅なカスタマイズが必要である”と定義し、各顧客の注文が固有の部品、材料及び製造手順となることを明らかにした。また 4 種類のカスタマイズがあることを示した。a) 完全な新規設計を必要とする完全なカスタマイズ b) 既存の設計の修正を必要とするテーラーメイドのカスタマイズ c) 設計オプションのセットから選択する標準カスタマイズ d) 現状のまま既存の設計を使う非標準的なカスタマイズである。船、プラント、注文住宅などは a) に、本研究の対象である工作機械やタービン発電機、クレーン、ボイラーなどのよう

なプラントユニット、住設機器はb) に分類される。

生産管理、生産計画、サプライチェーンマネジメント領域のETO 関連研究は、主に事例に基づいた研究が主流である (Gosling and Naim (2009))。Gelders (1991)、 Wortmann (1995)、 Little 他(2000)、Stevenson 他 (2005) 、 Hicks 他 (2000, 2001)は生産計画に関する研究の中で、標準 MRP II や ERP パッケージがETO 生産には適さないことを示し、生産計画管理の新たな枠組みがETO 分野のために必要であると述べている。サプライチェーンマネジメントに関する研究で、Hicks (2000) はETO 企業は製品仕様が決定される前に部品やモジュールを準備する必要がある、設計部門が購買部門と情報共有しながら部品を仕込むことが重要であるとしている[3][4][5][6][7]。

ETO 企業で問題となることが多い「納期が不正確」である点を解決する研究が報告されている。Grabenstetter 、Usher (2013)は ETO 企業 5 社からデータを収集して、重回帰式による納期推定方式を提案した。また、「受注仕様が不正確」な問題点に関して、Weng 他(2014) はETO 企業の営業部門のために、顧客に製品の機能仕様を正確に提案する方法を明らかにした。彼らはこのアプローチにより見積リードタイムを削減できることを確認している[8][9]。

受注製品設計に関連する研究・開発は、CAD(Computer Aided Design)領域、設計自動化の領域として進んで来たが、近年ではモジュラー設計に代表される、製品の構造をモジュール単位に整理し、機能仕様に対応付けて予め製品要素の開発を行っておき、注文に応じて選択式に受注製品仕様を組合せる、受注製品設計プロセスの改革技法が報告されている[10]。顧客のニーズ情報を抽出し、設計規則にあてはめ、正確に製品機能仕様を決定する研究は報告が少ない。Schwarze (95) は、顧客ニーズ情報の十分な把握ができないことによる手戻りロスを指摘している[11]。ニーズ情報を顧客要求仕様として定義しておき製品仕様との関連を洗い出す QFD 等の技法が定着しているが、受注仕様を決定する為の定義ではなく新製

品企画のための製品評価方法として進められている[12]。

部品仕込・製品受注生産に関連する研究は、パソコン等のサプライチェーンマネジメントを対象とした受注型の生販在計画技術として進展している。パソコンのデルが採用した受注生産方式が代表となる[13]。ここでは部品調達～製品生産の期間よりもはるかに短い顧客要求リードタイム（以下 LT）に起因し、部品を受注前に仕込んで在庫しておき、注文を受けてから在庫を使い製品を組む。仕込みの段階では製品・あるいは部品の需要予測に基づき必要部品を所要量展開し調達を行う。この方式は予め決められた製品の品種単位に部品展開ができることが前提となるが、品種でなく機能仕様単位でしか注文を現せない製品には適用が難しい。

また、パソコンの場合、顧客の要求は、CPU の処理性能、HDD の容量などの部品の性能として表すことができるため、仕込んだ部品在庫を顧客が直接引き当てている形に等しい運用にできる。本研究の対象のように顧客の要求を製品の機能・性能に変換する必要のある製品においては、適用が難しい。

ETO 企業に関する研究がかなり前進しているにもかかわらず、見積作業を含むエンジニアリングおよび設計活動と製造・調達活動を総合した短リードタイム生産を実現する、生産計画・部品調達方式を含む実証的な方法研究は十分なされていないとは言えない。

2.2 受注プロセスの問題点と対策

図 2.1 に部品仕込型 ETO 生産プロセスの概要を示す。生産プロセスは、受注プロセス、調達プロセス、製造プロセスから構成されており、受注プロセスでは、顧客がどのような製品を求めているかを生産者側に伝える引合を契機に、生産者側は顧客の要求仕様を基に製品の仕様を設計し、顧客に製品仕様の提案を行う。この製品の仕様に顧客が満足すれば受注となり、製造プロセスにおいて、部品の引当て、加工、組立を実行し製品の納入となる。需要（注文）は顧客企業の新製品の立上げタイミングに合わせたオーダーとなることが多く、顧客の短納期（要求リードタイム）に対応し部品は予め見込みで調達プロセスにより仕込まれる。見込で部品を発注してから使用されるまでの時間が長いことから、見込の誤差の影響を受け、実需に合わせて部品を引き当てる際には、必要な部品の不足や必要でない部品が過剰に在庫される状況を生みやすい。

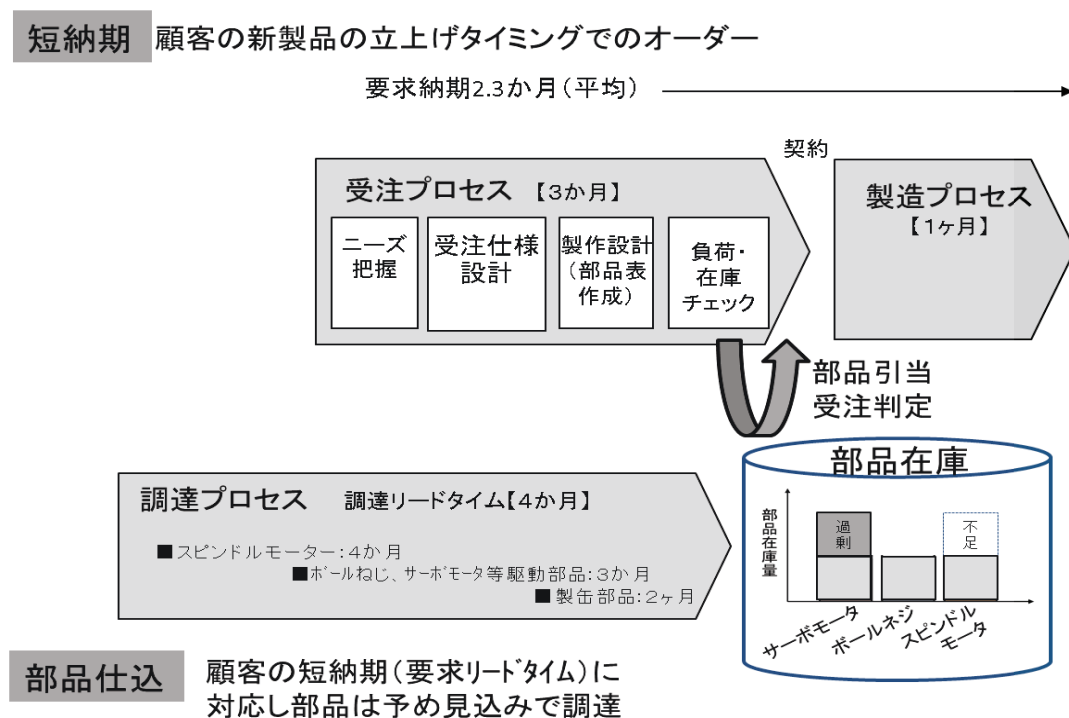


図 2.1 部品仕込型 ETO 生産プロセス

受注プロセスの中心をなす受注仕様設計の内容について図 2.2 に示す。顧客は電子機器メーカーであり、顧客ごとに用途仕様（加工対象・要求性能等）のニーズが全て異なる。

一方、製品仕様構成は、機能項目ごとに選択された性能値区分をまとめて受注仕様とする。顧客は生産条件や環境に関する要求を出すだけで製品仕様値を直接指定する訳ではないので、顧客の要求を製品仕様に変換する受注仕様の設計業務が必要になる。機能型製品においては、機能・性能値の上位互換性が成り立つ為、顧客の要求を満たす受注仕様は複数存在する。受注仕様の決定に当たってはコストを抑えた必要最低限な性能値区分の組合せ案が望ましい。

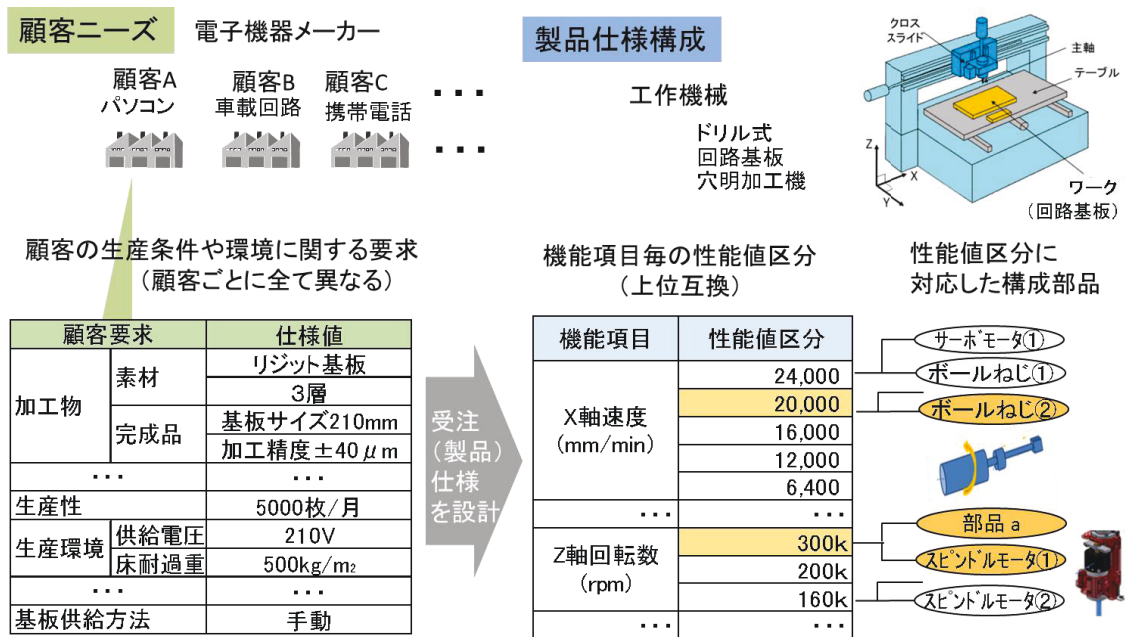


図 2.2 受注仕様設計の概要

受注仕様設計を含む受注プロセスの問題点を分析した。

図 2.3 は、受注プロセスについて、リードタイムおよび部品の利用効率の2つの観点からの問題点を示したものである。

営業部門により顧客のニーズ把握の後、設計部門にニーズ情報が伝えられ、受

注仕様が設計される。受注仕様は製作設計により必要な部品情報に展開された後、計画部門において、生産負荷や在庫部品のチェックが行われ、顧客に対する受注仕様・納期の回答が行われる。この過程で以下の問題がある。

(1) 多部署の分業となっており時間がかかる

営業～設計～計画と複数の部署の検討作業を経て回答が作成されるため、受注仕様や納期の回答に時間がかかる。(この事例では最短でも7週間を要する)

(2) 受注仕様決定に時間がかかる

営業による不正確なニーズ把握のため、設計部門からのニーズ再確認要求や再確認したニーズ情報の追加・変更による仕様設計のやり直しといった手戻りを生じている。手戻りの実態を調べるために、工作機械メーカーA社の2011年2月から1年間、99件の受注データを分析した。全案件において手戻りが発生しており、1案件あたり平均4.3回の変更回数となっている。その原因の内訳を表2.1に示す。仕様変更の主な原因としては、顧客要求の確認漏れ(38%)が挙げられる。営業担当者は、顧客要求を製品仕様までに展開する知識や経験が限られている為、製

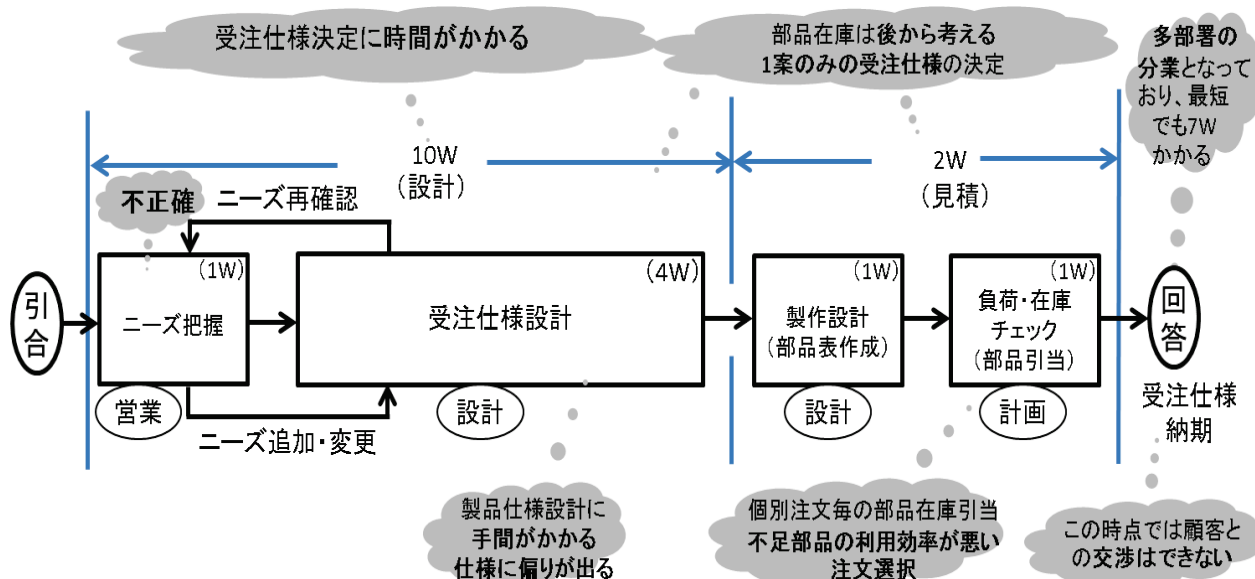


図 2.3 受注プロセスの問題点

品仕様を決定する上で必要となる顧客の要求を曖昧・不十分にしか引き出せていないと考えられる。

表 2.1 受注仕様変更の内容分析

分類		No.	仕様変更内容	割合	
A	顧客要求の確認漏れ	1	ワーク仕様、加エスピードに関する要求仕様の変更	11%	38%
		2	工具摩耗検出機能、工具交換装置の仕様変更	8%	
		3	NC制御ソフト/画面操作ソフト機能の仕様変更	7%	
		4	ワークを加工機に固定する仕様(固定ピン位置等)の変更	5%	
		5	スペア部品、治工具の追加・削除	5%	
		6	製品塗装色の変更	2%	
B	顧客側設備環境や生産計画の変更	7	顧客(工場)側の設備環境仕様の変更	11%	16%
		8	生産計画変更に伴う加工能力変更	5%	
C	実現困難な仕様の訂正	9	製品仕様の矛盾解消(例:電源過不足に伴うトランス変更)	7%	14%
		10	冗長な仕様(操作性向上機能など)の削減(予算制約)	7%	
D	その他	11	立ち合い条件や受注仕様誤記訂正	32%	32%

(3) 製品仕様設計に手間がかかり、仕様案に偏りが出る

設計担当者は、過去の設計事例などを参考に手作業にて受注仕様を設計している。手間(時間)がかかるばかりでなく、設計者は自身が知っている設計事例を基に受注仕様を決める為、提案する受注仕様に偏りが出る。即ち、設計者毎に案件に関わらず同じ仕様が提案されやすい(同じ部品に所要が集中する)。

(4) 部品在庫は後から考える。1案のみの受注仕様の決定

設計が受注仕様を設計する段階では、部品在庫の有無は確認しないことが多い。また、部品在庫の制約から提供可能な受注仕様を複数提案することは行っておら

ず1案のみの受注仕様しか決定されていない。

(5) 個別注文毎の部品在庫引当て

注文が来た順に部品を引き当てているため、部品活用を考慮した計画的な部品消費ができていない。先に受けた注文により消費された部品があれば注文を受けられた筈の後続の大口注文を部品不足により逃す、といった現象につながる。

(6) 顧客との交渉ができない

上記に示したように、受注仕様・納期の提示には時間がかかり、また提示される受注仕様案が1案のみの為、複数案を同時に検討する顧客との交渉が行えない。顧客より代替案を求められた場合に、提示までにさらに時間がかかってしまう(顧客の納期から見て「間に合わない代替案の提示」となってしまう)。

以上(1)～(6)に示した問題により、受注プロセスLTは長く、また、部品在庫を活用した仕様提案ができていない。

上記に挙げた問題に対処する対策の方針を示す。図 2.4 は受注プロセスの改善概要を示したものである。

(I) 狙い

- ・営業のみで 1W 以内に完了できるようにする
- ・顧客との対話の現場で使える迅速な処理システムとする
- ・顧客と交渉できるようにする（代案を提示できる）

(II) 対策アクション

①-1) 営業への製品設計知識の付与

- 2) 部品在庫チェックの省略（製品機能・性能値での受注可否判断）

②-1) 受注仕様設計の自動化

- 2) 部品在庫の有効利用を考えた性能値毎の受注可能な台数を事前に計画

③受注仕様の決定を顧客ニーズに適合する最低性能値の製品仕様（ベース仕様）の設計と、ベース仕様より上位性能で受注可能な製品仕様を選択するプロセスに分離

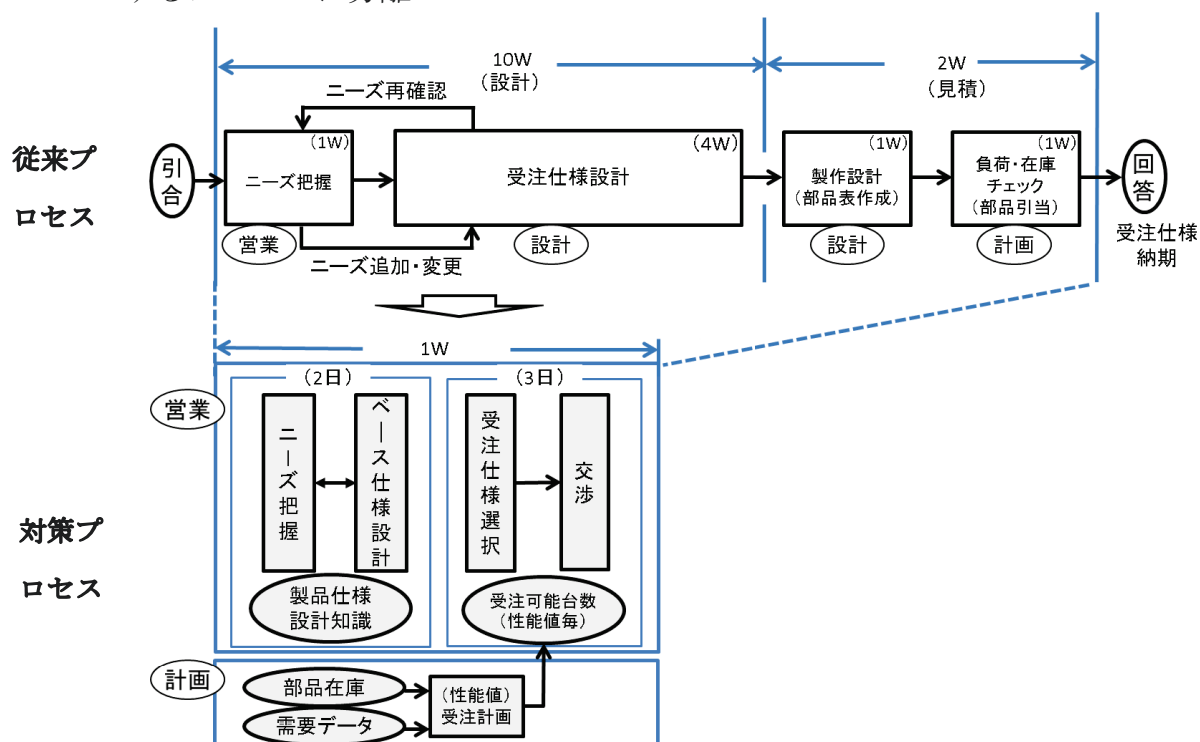


図 2.4 対策プロセスの概要

対策プロセスを成立させるポイントである、図 2.4①-2) に示した「製品機能・性能値での受注可否判断」について、図 2.5 に引当処理の変更内容を示す。対策プロセスでは、従来の部品（品目）単位の在庫引当てでなく、製品の機能・性能値（区分）単位の引当てを行えるようにすることで、営業が受注仕様案（性能値）から簡易に受注可否判定、代案の提示ができるようにしている。

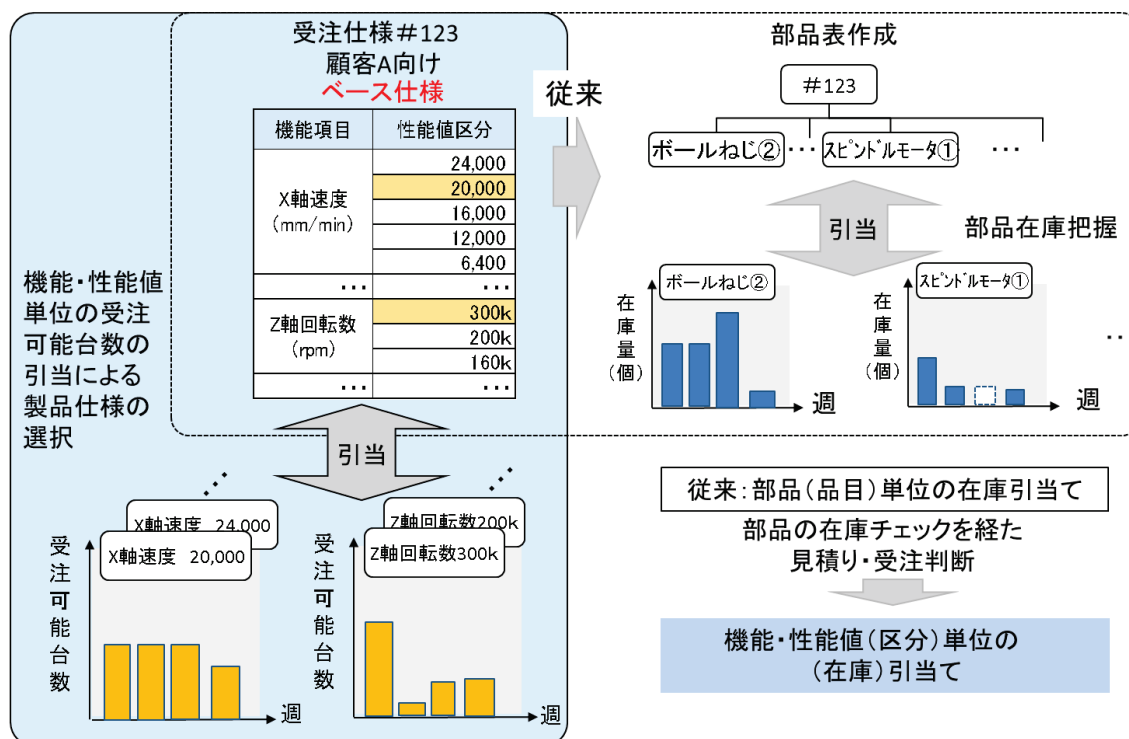


図 2.5 部品（品目）単位から機能・性能値（区分）単位の引当へ

従来は、受注仕様案を元に部品表を作成し、個々の部品について、活用可能な部品在庫を照会し、仮引当を行うことにより納期の判断や受注判断を行っている。すべての部品数は数千点に及び、部品表作成には工数・手間がかかり、さらに在庫情報との照合は、バッチ処理的な引当計算が必要である。営業からは、仕様を部品に展開する知識がなく、引当計算にも時間がかかるため、簡易に仕様—納期—の関係性を把握したり、複数の代替仕様を見積もることは困難である。

そこで、本研究では、在庫を引き当てる単位を、部品単位から機能・性能値（区

分) 単位に変更し、性能値単位での受注可否判断や仕様代案が容易に営業でも行える「仕様引当」を提案している。予め需要の見積もり情報をもとに注文選択を行っておき、この情報にあわせて、部品を仕様に引き当てておき、仕様値毎の受注可能台数として営業に開示し、受注活動を展開することで、部品利用効率の良い受注仕様提案が実現できる。

次節では、前述（Ⅱ）の①から③に挙げた対策アクションから構成する新しい受注方式の基本設計について示す。

2.3 新しい受注方式の基本設計

提案する受注方式は、下記の2方式から構成される。

- 1) 受注仕様設計方式：営業によるベースとなる受注仕様の設計
- 2) 受注予約方式：生産リソースの効率的利用を考慮し、受注が最大にとれるように注文選択した受注目標（計画）を事前に作成しておき、営業が受注仕様の選択を容易に行える

図 2.6 に受注方式の全体構成について示す。

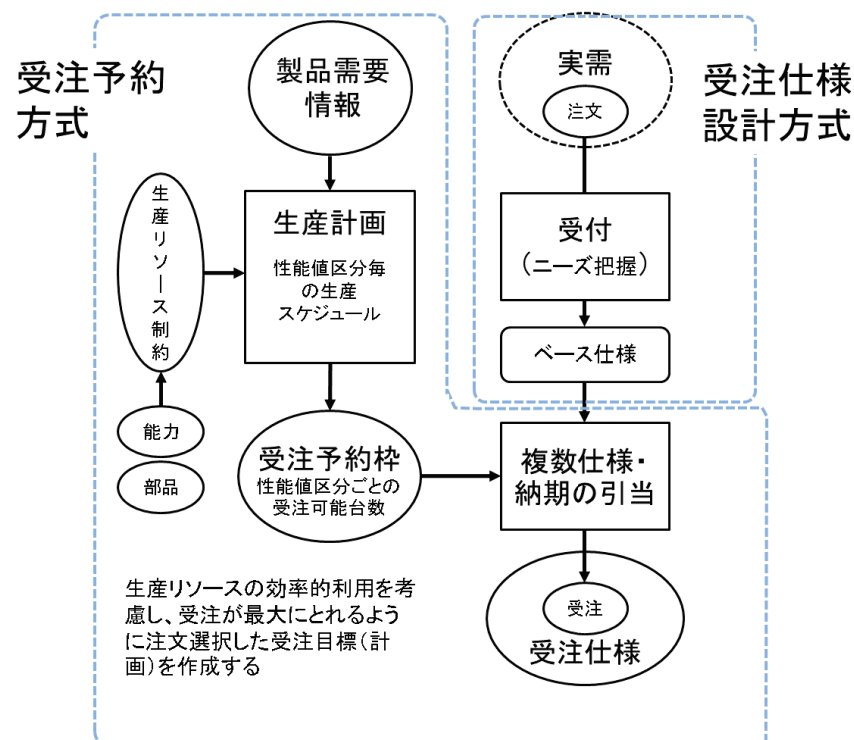


図 2.6 新しい受注方式の全体構成

(1) 受注仕様設計方式

受注仕様設計方式は、設計部門が持っている製品仕様設計知識を予め体系化し、これを参照することで、営業担当者が単独で受注仕様設計プロセスを実施できるようにするものである。図 2.7 に受注仕様設計方式の構成を示す。

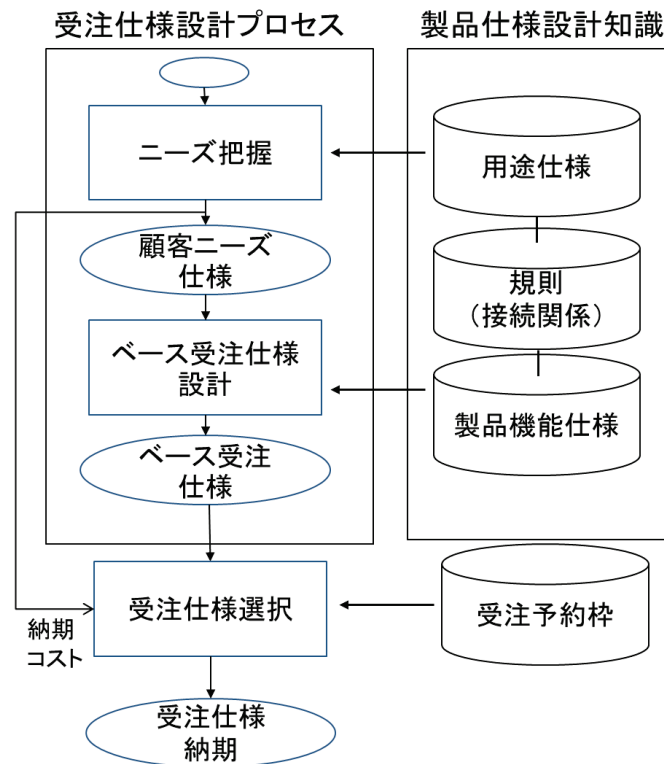


図 2.7 受注仕様設計方式の構成

製品仕様設計知識として、用途仕様項目、製品機能仕様項目および用途仕様の値と製品機能仕様項目の性能値との関係（仕様の接続関係とその関係規則）を体系化して登録する。用途仕様とは営業部門が顧客のニーズを正確に且つ漏れなく引き出す為に用いる仕様である。製品機能仕様は製品がどのような機能を有しているのかを表現するための仕様である。

営業担当者は用途仕様項目を参照に、漏れなく顧客のニーズを把握することができる。また、顧客の用途仕様の値が矛盾していたり、最良の性能値の機能仕様でも対応不可能な「実現できない要求仕様」をニーズ把握の段階で検出し、顧客に変更要求を出すことができる。

顧客ニーズ仕様を入力に、用途仕様と製品機能仕様の関係規則に基づき、顧客の要求を満たすベースとなる受注仕様を自動的に設計する。

（２）受注予約方式

受注予約方式は、製品の需要情報のインプットを基に、生産能力や部品制約といった生産リソース制約を考慮し、受注が最大にとれる受注計画を立案し、これを製品機能の性能値区分毎の受注可能台数の形で「受注予約枠」として事前に計画する方式である。受注予約枠を営業に開示し、受注予約枠に則った仕様提案をすることで受注計画に即した営業活動を実施できる。

営業と生産が合意した生産計画を受注目標として営業に開示し計画に則った受注活動を行う考え方の仕組みとして生産座席システムの研究および適用の報告がある[14][15][16][17][18][19][20][21][22][23][24]。

生産座席システムに関しては、１９９０年代より複数の適用事例が報告されている。生産座席とは列車や飛行機などに用いられる座席予約システムの概念を、生産管理システムに応用したものである。営業の需要分析に基づき、どのような注文がとれそうか分析し、いつ頃どのような仕様の受注をするか、また、顧客マーケットの実績データからどのような製品需要がどの時期発生するかパタン化した需要予測式を作成し、工場側の生産性の分析から、どのような仕様の順序で生産すれば効率が良いかの生産循環パタンを作成し、この２者を突合することで営業—製造が合意した生産計画を作成する。生産計画を直近数か月の受注枠（受注用スケジュール）として、営業に開示し、営業はこのスケジュールに合わせた受注活動を行い、生販合意の基の受注活動を実現する。

従来の生産座席に関する文献には大きく分けて、生産座席の運用ルールに関する研究、伝統的な受注生産と生産座席方式の比較をした研究、企業における実際の導入事例などがある。

導入事例では何れも少品種の完全見込品の生産環境を扱っており、工程能力を予約する考え方の生産座席が主流である。超多品種の製品に対応する為に製品機能仕様項目単位で座席を構成する、また、部品在庫の保証を行うような適用につ

いては報告がない。

図 2.8 に本研究で提案する受注予約方式の構成を示す。

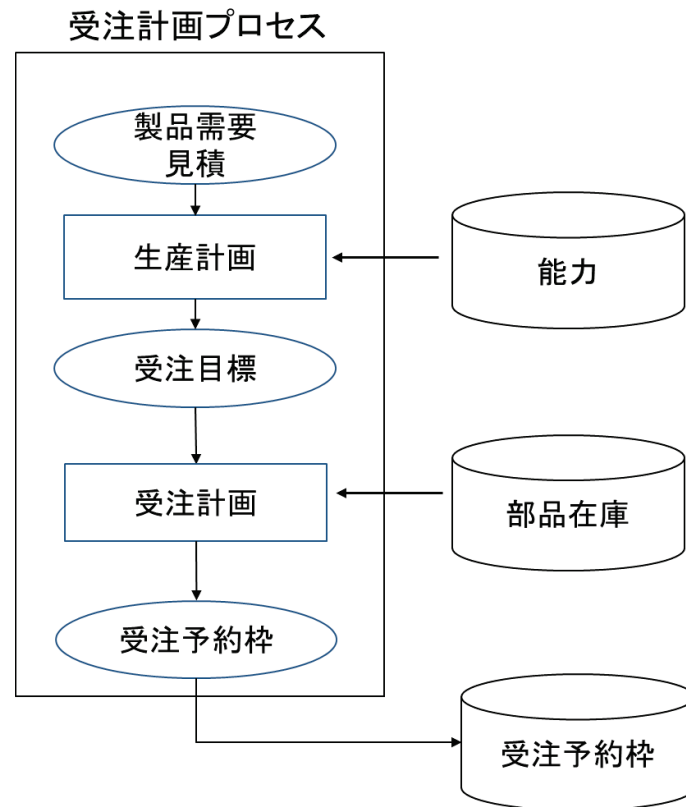


図 2.8 受注予約方式の構成

1) 需要見積を用いた需要情報取込

過去の需要実績を分析し需要パターン（需要予測式）を作成し需要情報を取り込む方式が一般的にとられることが多いが、対象となる工作機械の場合、顧客が製造している多種多様な最終製品の需要変化の影響を受けやすく、需要台数ばかりでなく仕様値区分の比率も大きく変化する。

製品需要情報として、過去の需要実績パターンによる需要予測に加えて、直近の見積情報を製品需要の先行指標として活用することにより精度の良い生産計画が立案できた先行研究[25]の報告を参考に、本研究でも同様の方式をとることにし

た。既商談中の引合い情報、あるいは潜在顧客情報から得られる想定台数および仕様値区分比率情報を先行き需要情報（需要見積情報）として取り込む。図 2.9 に需要見積情報のイメージを示す。

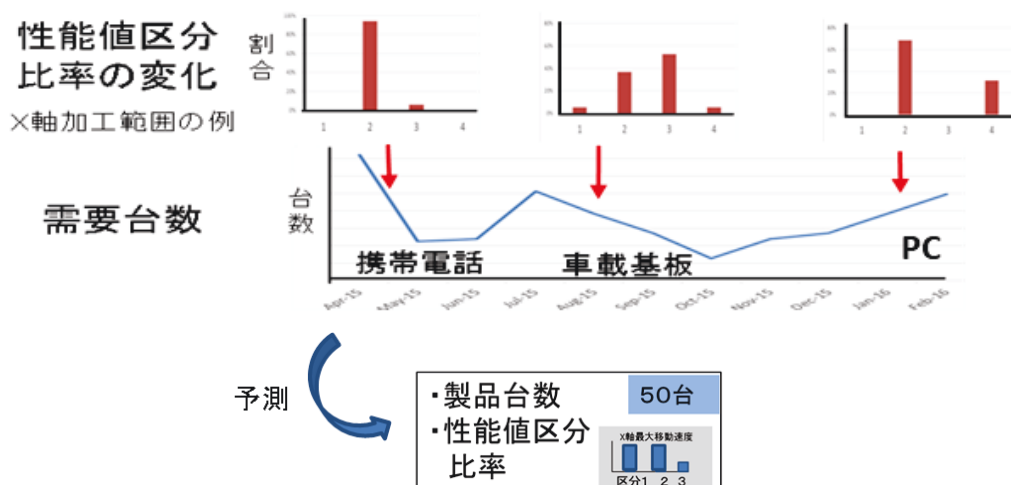


図 2.9 需要見積情報

2) 生産計画

1) の需要見積情報に基づき週単位の目標受注台数の設定を行なう。

生産計画は需要予測を元に設定される。しかし、間欠需要である製品について従来の生産研究にあるように品種単位に設定した場合、生産座席が過剰になったり、不足することが多くなるため、実用に適さない。図 2.5 に示した考えに従い、本研究では製品機能仕様項目を定義し、生産（受注）台数の設定単位とする。各々の製品機能仕様項目には性能を表す性能値区分が複数設定され、納期ごと、性能値区分毎に台数が設定される。

商談中の既存引合案件の受注確度、潜在顧客情報の顧客重要度等を考慮し、週単位の性能値区分毎の目標受注台数を集計し設定する。ここで予め設定されている能力枠を超えていないかのチェックを行い、枠内での負荷平準化検討を踏まえ台数を設定する。図 2.10 に生産計画（目標受注台数の設定）の概要を示す。

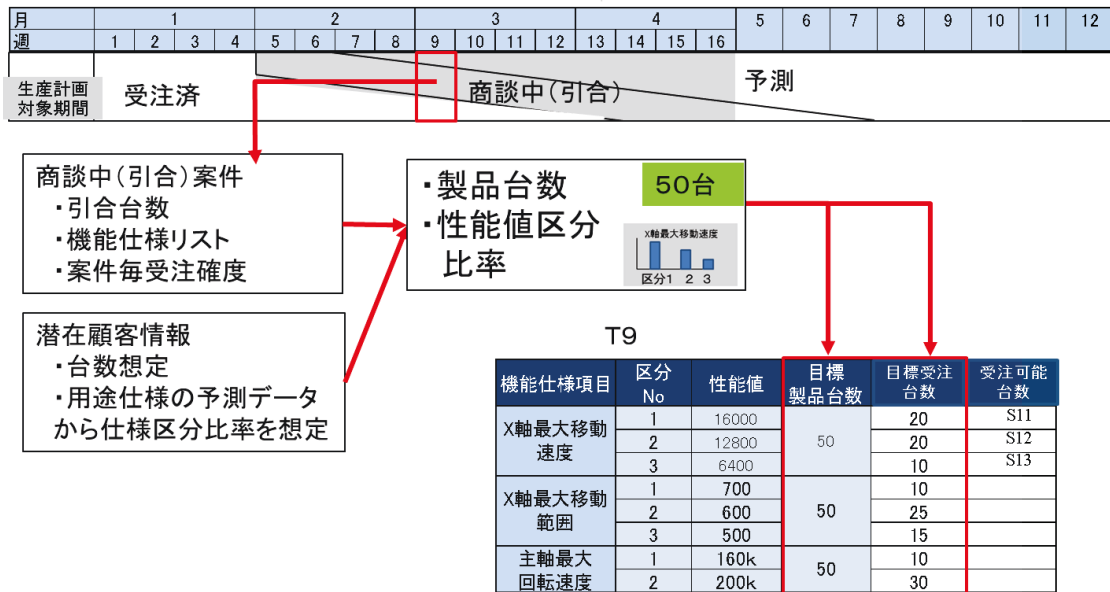


図 2.10 生産計画（目標受注台数の設定）の概要

3) 受注計画

利用可能な部品在庫を配分し、1) の性能値区分毎の目標受注台数に最も近い受注可能台数を設定する。

先行研究では、部品在庫の消費バランスを考慮した推奨仕様情報を生成し、営業に販売促進させる方式の報告[26]があり、本研究の受注方式設計の参考にした。但し、量産品（製品品種単位での管理）を対象としており、本研究が対象としている機能仕様・性能値の単位で需要や在庫との対応をとることは行っていない為、そのまま適用することはできない。

以上により作成される週単位の性能値区分毎の受注可能台数の一覧情報を受注予約枠と呼ぶ。図 2.11 に受注予約枠のイメージを示す。

t=9週

機能仕様項目	区分 No	性能値	目標 製品台数	目標受注 台数		受注可能 台数	
X軸最大移動 速度S1	1	16000	50	M11	20	S11	18
	2	12800		M12	20	S12	17
	3	6400		M13	10	S13	5
X軸最大移動 範囲S2	1	700	50	M21	10	S21	9
	2	600		M22	25	S22	13
	3	500		M23	15	S23	8
主軸最大 回転速度S3	1	160K	50	M31	20	S31	20
	2	200K		M32	30	S32	20

図 2.11 受注予約枠

上記に示した受注予約枠を営業に開示する。これにより、下記に示す受注仕様の選択（交渉）が可能となる。

4) 受注仕様選択

ベース受注仕様およびニーズ把握段階で明らかになる顧客の要求納期情報に基づき、受注予約枠との引き当てにより、複数仕様・納期の検討い受注仕様を選択する。選択された複数の仕様に関して顧客と交渉し、受注仕様・納期を迅速に決めることができるようになる。

図 2.12 に受注予約枠を用いた受注仕様交渉の例を示す。

受注予約枠により、納期-仕様の一覧が分かるので、例えば、ベース受注仕様 X 軸移動範囲 600、X 軸移動速度 6400 が希望納期 t になかった場合、代案として納期をずらした案 2、X 軸移動速度 6400 の代わりに上位機能である 12800 を使う案 3 などの複数案を取り入れた交渉を行うことができる。

案 3 に受注が決まった場合、受注可能台数は更新され、注文を受けた分は受注情報に仕様データ込みで格納される。

機能仕様項目	性能値	受注可能台数(台)		
		t期	t+1期	...
X軸移動速度	16000	10	5	...
	12800	3	10	...
	6400	0	8	...
X軸移動範囲	700	8	5	...
	600	7	10	...
	500	5	10	...
...

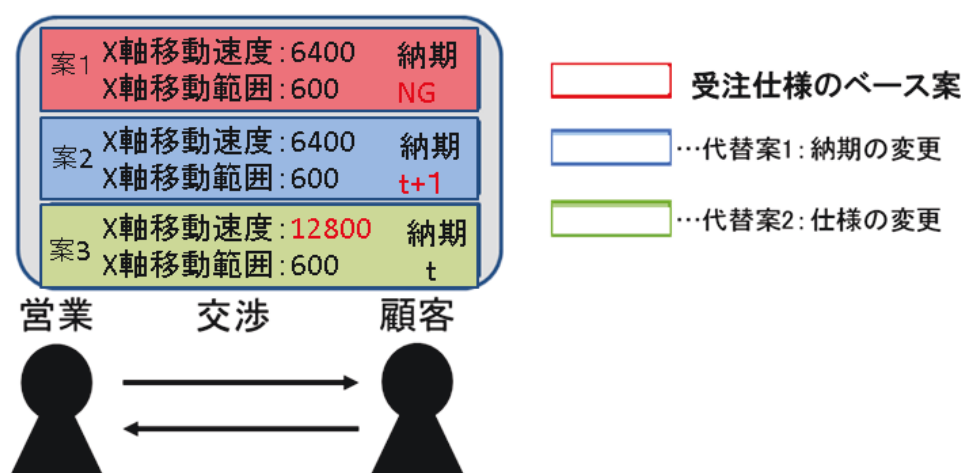


図 2.12 受注予約枠を用いた受注仕様交渉の例

以上に述べたように、提案する受注方式は、日々の引合（注文）の発生をトリガにして、引合を受付け、顧客のニーズを把握し、これに合ったベース受注仕様を設計する受注仕様設計方式と、製品の需要情報のインプットを基に、生産能力や部品制約といった生産リソース制約を考慮し、受注が最大にとれる受注計画を立案し、これを製品機能の性能値区分毎の受注可能台数の形で「受注予約枠」として事前に計画しておき、さらに受注予約枠とベース受注仕様を引き当て、顧客の要求を満たす複数の受注仕様・納期の選択を行い、顧客と交渉を行うことにより迅速に受注仕様を確定する受注予約方式、とから構成する。

以上（２）（３）で示した受注仕様設計方式および受注予約方式を実現する上での研究課題は下記となる。

A) 受注仕様設計方式

①製品仕様設計知識の体系化

- ・顧客ニーズの定義方法（用途仕様）の体系化
- ・仕様間の関係規則（製品仕様設計ルール）の体系化

②ベース受注仕様設計ロジックの開発

B) 受注予約方式

①受注計画の機能設計

②受注計画ロジックの開発

上記の研究課題毎に以下の章を構成する。第3章では、製品仕様設計知識の体系化について、顧客ニーズの定義方法（用途仕様）の設計、仕様項目間の関係規則（製品仕様設計ルール）の体系化について報告する。第4章はベース受注仕様設計の自動化を図る設計ロジックの開発と評価を示す。第5章では、受注計画ロジックの開発について述べ、受注計画ロジックの設計と評価について報告する。第6章では、提案した受注方式の効果見積を行う。

なお、各章の検討には回路基板穴明加工機の事例データを使用している。

第3章 製品仕様設計知識の体系化

本章では、顧客ニーズの体系化、顧客ニーズから製品機能仕様への変換に必要な知識の体系化を行う。

本研究では、回路基板穴明加工機を例に、設計知識の体系化を進める。

回路基板穴明加工機の構造について説明する[27]。回路基板穴明加工機の全体像を図3.1に示す。

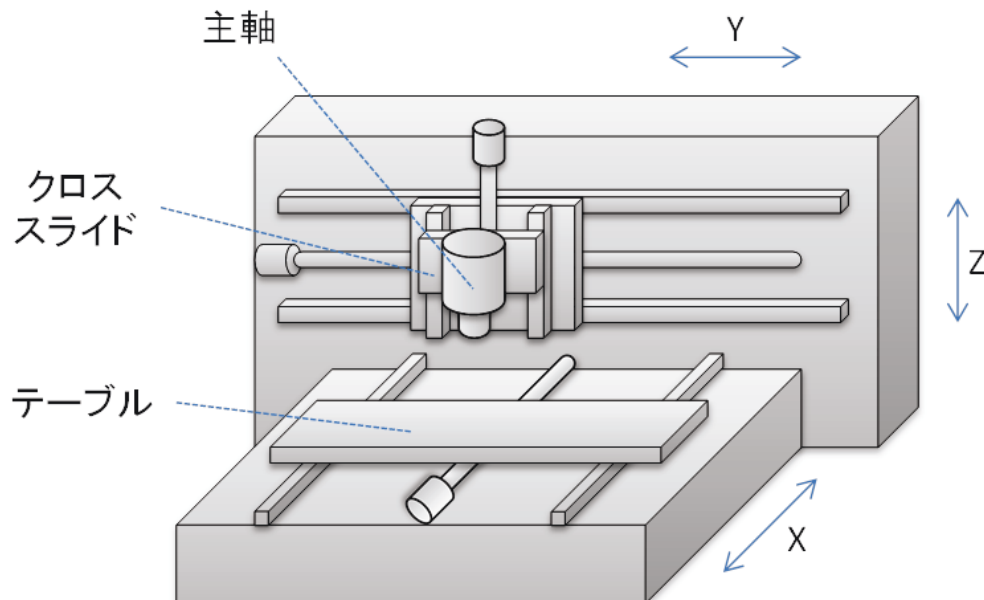


図 3.1 回路基板穴明加工機の全体像

回路基板が電子実装されている電子機器は、携帯電話や液晶テレビなどの民生用デジタル電子機器から、サーバーやルスーパーコンピュータなどの産業用デジタル電子機器など非常に多岐に亘っている。そのため、実装される回路基板も、装置の規模により、小型のモノから大型のモノまで様々なニーズがあり、回路基板の穴あけも、回路基板の材質やサイズ、穴あけの位置などが異なる。また、基板の生産は国内外を問わず顧客により様々な場所で行われているため、使用環境も多種多様である。

回路基板穴明加工機が穴あけを行う際の動作について説明する。まず穴あけを行う回路基板は図 3.1 にあるテーブルに設置される。ユーザーは回路基板のどこに、どのような順序で、どのような穴をあけるのかの指示を与える。回路基板穴明加工機の動きはすべて NC データによりコントロールされるので、与えられた指示に従い、主軸が穴あけ箇所の上真上にセットされるよう、テーブルを X 軸方向へ、主軸に取り付けられたクロススライドと呼ばれる部品を Y 軸方向へ移動させる。この時の移動範囲は回路基板の加工範囲に依存する。軸方向への移動は、それぞれの軸のモーターとボールネジにより独立して行われる。主軸が穴あけ箇所の上真上にセットされると、主軸が回転しながら Z 軸方向に下降し、主軸に取り付けられたドリルが回路基板を切削することで穴あけが行われる。このようにして指定された箇所の上真上のすべてへの穴あけが完了するまで上記の動作が繰り返される。穴あけが完了したら、自動、もしくは作業者によって、加工の終わった基板とこれから加工を行う基板が取り替えられ、再び穴あけが行われる。回路基板穴明加工機は、加工範囲、加工速度といった機能によって製品が表される機能型製品である。

3.1 顧客ニーズの定義方法（用途仕様）の体系化

（１）研究課題

製品を設計する為には、顧客の要求内容（ニーズ）を必要な製品仕様項目の性能値として数値や用語の形に変換する必要がある[11]。情報が曖昧である、または必要な情報が不足すると製品機能仕様に展開することができない。従って、用途仕様とは、営業部門が顧客のニーズを正確に且つ漏れなく把握する為に用いる仕様である。

顧客ニーズを受注製品仕様が決定出来る詳細度で、かつ過不足なく定義するための用途仕様の設計を行なう必要がある。

（２）従来研究

顧客のニーズを用途仕様として体系化した研究として、工作機械分野での顧客要求、製品機能に関する新野，橋詰の研究がある[12]。ここでは、工作機械の新製品を開発する際の用途仕様を QFD 手法の一環で定義を行っている。

用途仕様のカテゴリーとして加工方式、性能、稼働環境等を定義し、それぞれの製品機能へのインパクトを評価している。顧客要求と製品仕様の設計アイテムを定義しその間の関連の有無が整理されているが、設計アイテムには製品機能やそれを構成する部品に関する項目が混在しており、それらの項目と顧客要求とがどのように関連しているかについては明確にされていない。定義した用途仕様項目には、受注仕様を決定できる詳細度が足りない為、受注仕様の性能値を計算することはできない。

新野，橋詰は、用途仕様のカテゴリーとして、下記の項目を抽出しており、本研究の用途仕様の設計の参考とした。

- 1) 技術的要因：工作機械の技術的仕様面、即ち機能、構造、性能、並びに特性に関わる項目

①加工能力 ②加工精度 ③加工の多様性 ④システムへの適合性

⑤耐久性・信頼性

2) 経済的要因：工作機械の購入価格、搬送、設置、維持管理などに要するコストを含む経済性に関わる項目

①生産性 ②購入容易性 ③保守性 ④コンパクト性 ⑤設置性 ⑥搬送性

3) 人間的要因：運転要員の民族性、体形、ヒューマンインターフェース、意匠デザインなど風俗、習慣、に基づく民族的要因を陰に含む項目

①操作性 ②安全性 ③快適性・嗜好性

4) 社会的要因：エコロジーへの配慮、工作機械の設置環境に与える影響、あるいは設置環境との調和を含む項目

①振動・騒音の抑制 ②地球環境適合性・省資源

5) 地域的要因：地域の気候や設置地盤への適合性、工場立地や地域ユーザの技量、地域産業構造への適合性を考慮する項目

①仕向け地向き仕様の採用 ②地域インフラストラクチャとの適合性

（３）用途仕様の設計手順

用途仕様は製品機能仕様への展開が行える項目として抽出できていなければならない。そこで、仕様項目の設計の際には、製品機能仕様との対応性を検証し、必要十分性の確認を行う手順とした。図 3.2 に用途仕様項目の設計手順を示す。

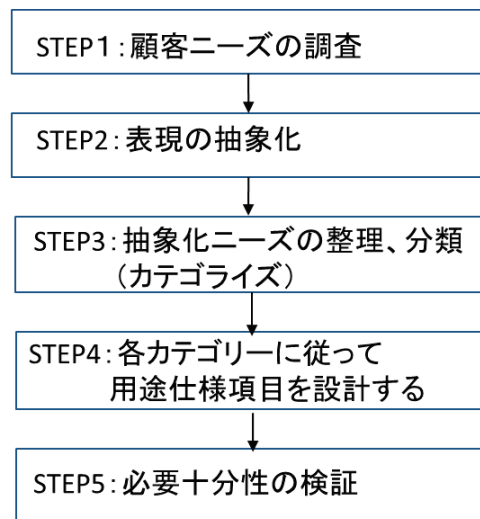


図 3.2 用途仕様項目の設計手順

（４）用途仕様項目の設計結果

図 3.2 に示したステップ毎の検討結果を以下に示す。

１）顧客ニーズの調査

用途仕様は顧客が製品をどのように使用したいのか、要求を十分に引き出すための仕様である。効率よく顧客の要求を引き出すためには顧客に対して何を聞かなければならないのかを営業がリストとして持っている必要がある[28]。

用途仕様の設計を行うために、まず、工作機械一般に対する顧客要求の調査、整理を行ない、顧客が製品をどのように使用したいかを表現するために、どのような種類の項目で表現されなければならないかを整理した。

具体的には除去加工を行う工作機械における一般的な用途仕様を作成するために、工作機械を用いて行う除去加工に関する文献の調査作業を行い、顧客が製品をどのように使用したいかの要求を抽出した[29][30][31][32][33]。

その結果、71 件の要求事項が抽出された。要求事項の例を表 3.1 に示す。

表 3.1 工作機械に対する顧客要求の例

No.	顧客要求の例
1	1mm厚のアルミニウムを圧延したい
2	多面加工したい
3	工具が摩耗したら自動的に交換できるようにしたい
4	工具の破損を検知できるようにしたい
5	設置スペースは3m×3mの範囲内に収めたい
6	一度に4枚の基板を加工したい
7	1時間に60枚加工したい
8	260×180mmの基板を加工したい
9	一度に4枚加工したい
10	一日に100個作れるようにしたい
11	圧延後のトリミングをなくしたい(減少させたい)
12	前工程の熱間圧延機に接続できるようにしたい
13	テーパ形状(円錐形状)に加工したい
14	直径 0.1mm 以下の微細穴加工を行いたい
15	紙フェノール基板に穴をあけたい
16	冷間で圧延したい
17	圧延後、割れが発生しないようにしたい
18	切粉処理をしっかり行いたい
19	異物飛び込みを防ぐために排気装置がほしい
20	設置スペースは3m×3mの範囲内に収めたい

2) 顧客要求表現の抽象化

STEP1 で抽出を行った工作機械に対する顧客要求を一般化し、分類を行うことで、用途仕様の設計を行う。まず、抽出された顧客要求の一般的な表現に置き換える。その結果を表 3.2 に示す。

表 3.2 工作機械に対する顧客要求の一般化

No.	工作機械に対する顧客要求	一般化
1	仕上げ面粗さ100sをつくる	加工精度
2	加工時間の短縮	時間当たりの加工量
3	被削材の硬度	ワークの材質
4	削る素材の寸法	ワークの寸法
5	大きな切削音が発生	快適性
6	2面加工を行う	加工箇所の数
7	無人加工	安全性
8	φ 3.1の穴あけ	加工の形状
9	工作費/穴のコスト低減が可能	ランニングコスト
10	切りくずが発生する	副産物

3) 要求内容の整理、分類（カテゴライズ）

一般化された顧客要求を表す項目を 5W1H の観点から、why を除いた 5 つの大項目に分類した。そこからさらに新野らの分類[12]も参考に、細かな分類を作成し、9 つの小分類に分類分けを行った。用途項目の分類と一般化した顧客要求の一覧を表 3.3 に、用途仕様項目の小分類の定義を表 3.4 に示す。

表 3.3 用途仕様項目の分類と一般化した顧客要求

用途仕様項目の分類		一般化した顧客要求
what	入力	ワークの寸法
		ワーク質量
		ワークの材質
	出力	加工の形状
		加工箇所の数
		加工精度
		副産物
where	稼働環境	稼働場所の状態
		稼働場所のインフラ
	設置環境	設置場所の寸法
		設置場所の頑強性
who	作業者	搬入環境
		搬入口の寸法
		操作性
how	生産性	安全性
		快適性
	コスト	時間あたりの加工量
		工程1サイクルあたりの同時加工量
when	納期	購入価格
		ランニングコスト

表 3.4 用途仕様項目の分類とその定義

用途仕様項目の分類		定義
what	入力	どのようなものに加工を行いたいかを表す項目
	出力	加工した結果どのようなものにしたいかを表す項目
where	稼働環境	どのような環境で生産を行いたいかを表す項目
	設置環境	どのような場所に置いて生産を行いたいかを表す項目
	搬入環境	どのような場所に搬入を行いたいかを表す項目
who	作業者	どのような作業者が機械を操作するのかを表す項目
how	生産性	どれだけの生産を行いたいかを表す項目
	経済性	製品の購入、維持にかかる金銭負担を表す項目
when	納期	いつまでに納品して欲しいかを表す項目

ここで、用途仕様項目の分類について説明を行う。大項目『What』は工作機械に

対して何を入れて何を作りたいのかを示している。何を入れるかを表す『入力』は、ワーク特徴を説明する項目である。ここでいう特徴とは寸法や、重さ、質量などである。何を作りたいかを示す『出力』は完成品の特徴を説明する項目である。ここでいう特徴とは、主にワークに対してどの様な加工を施したいのかを示す。大項目『where』は、どこに設置し、どの様な条件下で加工を行いたいのかを表している。『設置環境』は設置をする場所のスペース、『搬入環境』は設置場所までの障害を説明する項目である。また、『稼働環境』は、設置場所の温度や使用できる電圧などを表している。大項目『who』はどのような作業者に工作機械を使わせたいのかを表している。ここでは工作機械を動かすのに作業者の要不要、から作業域や、能力などを表す。大項目『how』は工作機械を使ってどのように生産を行いたいのかを表している。具体的には、どれだけの量を生産したいのか『生産性』を、そしてどれだけのコストをかけて生産をしたいのか『経済性』を表している。大項目『when』は、顧客がいつから生産を行いたいのか『納期』表している。

4) 用途仕様項目の設計

整理された用途仕様の分類を基にして、具体的な製品の用途仕様を設計する。
顧客が製品をどのように使用したいかを必要十分に表現する用途仕様項目を設定することが可能になる。

表 3.5 に回路基板穴明加工機の用途仕様項目の設計結果を示す。

表 3.5 回路基板穴明加工機の用途仕様項目

用途仕様項目の分類		回路基板穴明加工機の用途仕様項目	単位
what	入力	基板の寸法(X)	mm
		基板の寸法(Y)	mm
		基板の寸法(Z)	mm
	出力	穴径	mm
		穴の数	個
		穴の位置	-
		内壁粗さ	μ m
		加工精度	μ m
where	稼働環境	電源電圧	V
		電源周波数	Hz
		気温	°C
		湿度	%
	設置環境	設置場所寸法(X)	mm
		設置場所寸法(Y)	mm
		設置場所寸法(Z)	mm
		床耐圧	kg/m ²
how	生産性	搬入可能な横幅	mm
		搬入可能な高さ	mm
		月間の生産枚数	枚
	コスト	基板重ね加工枚数	枚
		稼働シフト	直
		購入価格	円
when	納期	ランニングコスト	円
		納期	-

5) 必要十分性の検証

整理した用途仕様項目の分類に則って抽出した用途仕様項目の必要十分性を検証する。製品機能仕様項目との関係の対応付けを行う（図 3.3）。ここで扱う製品機能仕様項目は、A 社の回路基板穴明加工機の調査に基づき定義したものである。表 3.6 に回路基板穴明加工機の製品機能仕様項目を示す。

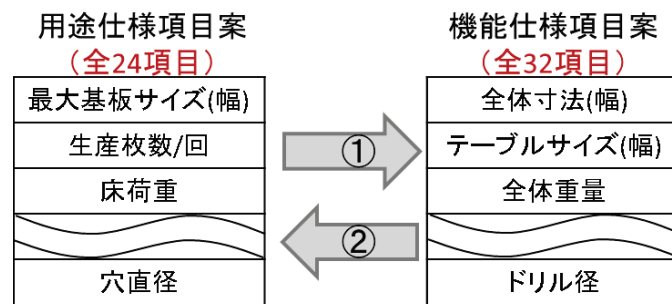


図 3.3 用途仕様項目と製品機能仕様項目の対応付け

図 3.3 の①の矢印において、用途仕様項目の必要性、つまり製品機能仕様項目と対応付け出来ない余分な用途仕様項目はないかの検証を行った。また②の矢印において、用途仕様項目の十分性、つまり製品機能仕様項目を表現することが出来ない不足した用途仕様項目はないかの検証を行った。全ての項目に対して関係の対応付けを行ったところ、種類に従って設計した用途仕様項目全 24 項目を用いることで製品機能仕様項目全 32 項目を全て説明することが出来たため、用途仕様項目の必要十分性が示された。

表 3.6 回路基板穴明加工機の製品機能仕様項目

製品機能仕様項目の分類		回路基板加工機の製品機能仕様項目	単位
主機能	加工対象	穴あけ	－
	加工範囲	テーブルのX軸方向移動距離	mm
		主軸のY軸方向移動距離	mm
		主軸のZ軸方向移動距離	mm
	加工速度	主軸回転数	rpm
		主軸送り速度	mm/min
		X軸最大移動速度	mm/min
		Y軸最大移動速度	mm/min
		Z軸最大移動速度	mm/min
		並行穴あけ処理数	本
	加工精度	X軸最小移動距離	μ m
		Y軸最小移動距離	μ m
		内壁粗さ	μ m
		加工できるワークの寸法(X)	mm
		加工できるワークの寸法(Y)	mm
		加工できるワークの寸法(Z)	mm
補助機能	工具の交換	ドリル交換方式	－
		ドリル径検出方式	－
		交換時期の確認	－
	ワークの取替	ワーク交換方式	－
	副産物除去	集塵流量	l/min
		集塵負圧	kPa
	工具異常検知	ドリルの破損確認方式	－
環境機能	形態	機械の寸法(X)	mm
		機械の寸法(Y)	mm
		機械の寸法(Z)	mm
		機械の重量	kg
	稼働環境	対応電圧	V
		対応周波数	Hz
		電源容量	kVA
		周囲気温	°C
		周囲湿度	%

（５）仕様値の範囲の検討

用途仕様は顧客に対して製品機能仕様を決定する上で必要な用途仕様項目を提示するためにある。用途仕様項目に関する要望を仕様値として入力してもらい、初めて機能を果たす。その際に、製品機能・性能が対応していない仕様値の入力を防ぐために、初めから実現可能な範囲を提示しその範囲内で入力してもらうことで、顧客に何度も用途仕様の入力をやり直させることを防ぐことが可能となる。用途仕様項目値の範囲設定は現実的に考え得る範囲をとるものとして設定する。

製品機能仕様項目の性能値によって実現できる用途仕様項目値の範囲は設定可能である。製品機能仕様のとりうる性能値の範囲をもとに、3.2 節で説明する制約式を用いることで、用途仕様項目の仕様値の存在可能範囲を求めた。

さらに、製品機能仕様の性能値のとりうる範囲を最大・最小の２値ではなく、性能値区分として最適な品揃えとする検討を行った。

１）製品機能仕様項目の性能値のとりうる範囲の設定

回路板穴明加工機の製品機能仕様項目に対して、A 社製品の生産事例や構造に関する資料を参考にして性能値の範囲の設定を行った。性能値の範囲の設定結果を表 3.17 に示す。

表 3.7 回路板穴明加工機の製品機能仕様 性能値の範囲

製品機能仕様項目の分類	回路基板穴明加工機の製品仕様項目	単位	性能値の範囲
主機能	加工対象	穴あけ	-
	加工範囲	テーブルのX軸方向移動距離	mm
		主軸のY軸方向移動距離	mm
		主軸のZ軸方向移動距離	mm
	加工速度	主軸回転数	rpm
		主軸送り速度	mm/min
		X軸最大移動速度	mm/min
		Y軸最大移動速度	mm/min
		Z軸最大移動速度	mm/min
		並行穴あけ処理数	本
	加工精度	X軸最小移動距離	μ m
		Y軸最小移動距離	μ m
		内壁粗さ	μ m
		加工できるワークの寸法(X)	mm
		加工できるワークの寸法(Y)	mm
		加工できるワークの寸法(Z)	mm
補助機能	工具の交換	ドリル交換方式	-
		ドリル径検出方式	-
		交換時期の確認	-
	ワークの取替	ワーク交換方式	-
		集塵流量	l/min
	副産物除去	集塵負圧	kPa
		工具異常検知	-
環境機能	形態	ドリルの破損確認方式	-
		機械の寸法(X)	mm
		機械の寸法(Y)	mm
		機械の寸法(Z)	mm
	稼働環境	機械の重量	kg
		対応電圧	V
		対応周波数	Hz
		電源容量	kVA
		周囲気温	°C
		周囲湿度	%

2) 用途仕様項目の仕様値の範囲の設定

① 固定的な最小・最大値の設定

表 3.7 に示した製品機能仕様性能値の範囲と 3.2 節で述べる制約式を参照に用途仕様項目毎の仕様値の範囲を求めた。さらに、穴あけ加工や基板生産の事例 [33][34] を基にして、範囲の縮小・拡大を行った。設定した用途仕様項目値の範囲を、表 3.8 に示す。

表 3.8 用途仕様項目の仕様値の範囲の設定結果

用途仕様項目の分類		回路基板穴明加工機の用途仕様項目	単位	仕様値の範囲
what	入力	基板の寸法(X)	mm	30～550
		基板の寸法(Y)	mm	30～550
		基板の寸法(Z)	mm	0.4～3.6
	出力	穴径	mm	0.3～5.0
		穴の数	個	50～10,000
		穴の位置	-	-
		内壁粗さ	μ m	5～25
		加工精度	μ m	0.15～0.4
where	稼働環境	電源電圧	V	100～480
		電源周波数	Hz	50～60
		気温	℃	15～25
		湿度	%	40～60
	設置環境	設置場所寸法(X)	mm	2,000～2,500
		設置場所寸法(Y)	mm	1,200～4,200
		設置場所寸法(Z)	mm	1,500～2,000
		床耐圧	kg/m ²	500～2,000
	搬入環境	搬入可能な横幅	mm	1,200～2,500
		搬入可能な高さ	mm	1,500～2,000
how	生産性	月間の生産枚数	枚	10,000～25,000
		基板重ね加工枚数	枚	1～5
		稼働シフト	直	1～3
	コスト	購入価格	円	-
		ランニングコスト	円	54,000～82,000
when	納期	納期	-	-

②複数の用途仕様値によって入力可能な範囲が変化する仕様値範囲

用途仕様項目の値によっては制約関係規則を満たすような製品機能仕様項目の性能値が存在しないケースが存在する[37]。

3.2 節に示すように、複数の用途仕様項目に関連する制約が存在する。このような用途仕様項目の場合、既入力 of 用途仕様値に基づき、製品機能仕様項目の最良（大）値で、顧客へ用途仕様項目の値の実現可能な範囲を常にチェックし、最良値でも対応できない場合に、まず顧客へ用途仕様項目の値を変更するアドバイスを行なう必要がある。

その際の手順を以下に示す。

STEP1: 製品機能仕様項目の性能値では実現できない用途仕様項目をリストアップする。

STEP2：用途仕様項目間の制約データベースより制約関係図を顧客に表示する。

制約データベースは、任意の2種の用途仕様項目の取りうる値を関連する制約式に基づき計算する。この際、関連する機能仕様項目の値は、最良（大）値として制約式を評価する。

例えば、図 3.4 は用途仕様項目の「月間生産個数」(x1)と「穴径」(x4)との制約関係規則を図にしたものである。矢印の右側示す領域は、月間生産個数(x1)と穴径(x4)の組み合わせによる実現可能領域である。

どうしても変更できない用途仕様項目の値がある場合、予め用意している製品機能仕様項目の性能値では対応できない要求であるため、個別交渉となる。個別交渉とは、新設計を含む個別設計が必要な製品を顧客に提供することであり、特別な用途仕様の製品を顧客に提案することである。

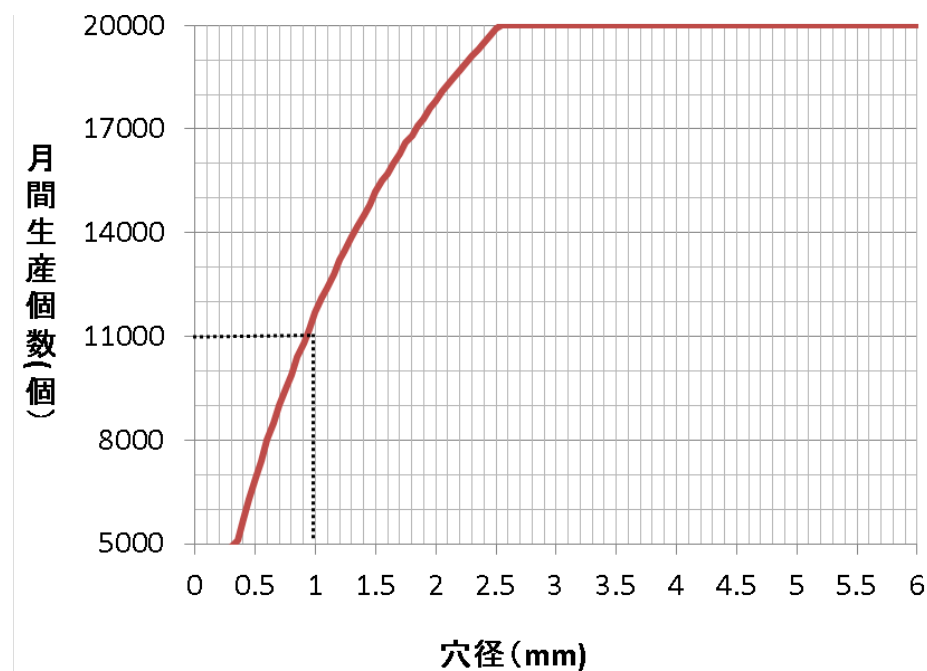


図 3.4 用途仕様項目の制約関係図の例

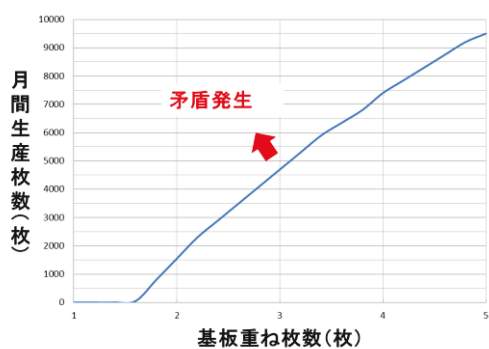
3.2節で述べる制約タイプ3に関連する用途仕様項目8つと製品仕様項目9つ、ルール5つに対して、矛盾領域による制約表現の展開を行った。

具体的には、最良値の製品機能性能値を用いて、任意の用途仕様項目を与えた

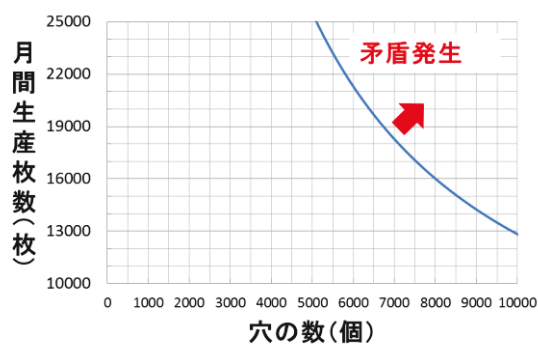
場合に、制約によって設定した製品項目属性値が得られない領域が矛盾発生領域であり、そうでない領域を実現可能の必要条件を満たす用途項目の候補値として、実現可能領域と定義した。その結果、8つの実現可能領域を示したグラフと、1つの制約関係の表を得た。その結果を図 3.5、表 3.9 に示す。

表 3.9 穴径と基板の寸法(Z)の属性値による重ね枚数

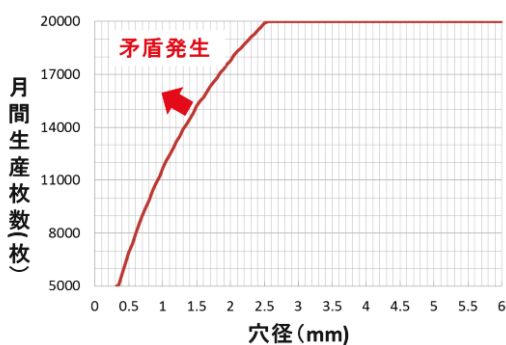
		穴径 (mm)														
		0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5		4	4.6	4.8	5
基板の寸法 Z (mm)	0.4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	0.6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	0.8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1.2	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1.4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1.6	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	1.8	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5
	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
	2.2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	5	5	5	5
	2.4	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	5	5	5	5
	2.6	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	5	5	5	5
	2.8	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	5	5	5	5
	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	5	5	5	5
	3.2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5
	3.4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5
	3.6	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	5	5	5	5



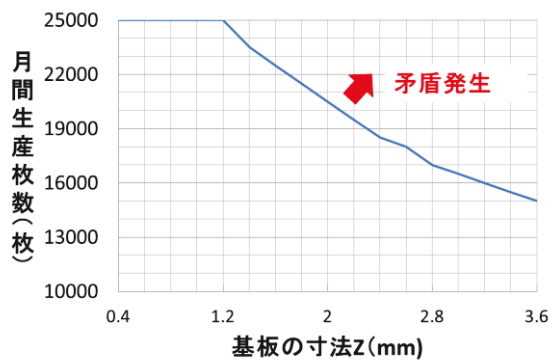
生産枚数と最大基板重ね枚数



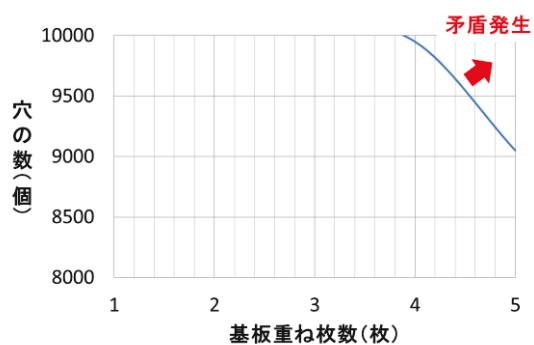
月間生産枚数と穴の数



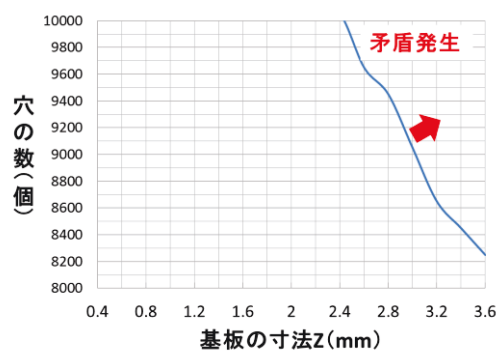
月間生産枚数と穴径



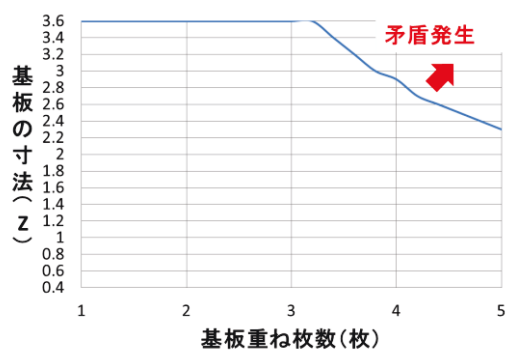
月間生産枚数と基板寸法(Z)



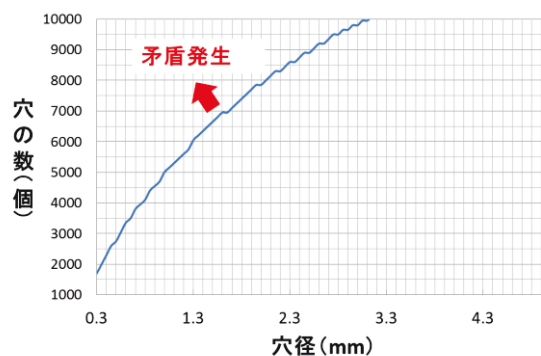
穴の数と最大基板重ね枚数



穴の数と基板の寸法(Z)



基板の寸法(Z)と基板重ね枚数



穴の数と穴径

図 3.5 用途仕様の実現可能領域

図 3.6 に用途仕様の入力値判定を用いた引合交渉の流れを示す。

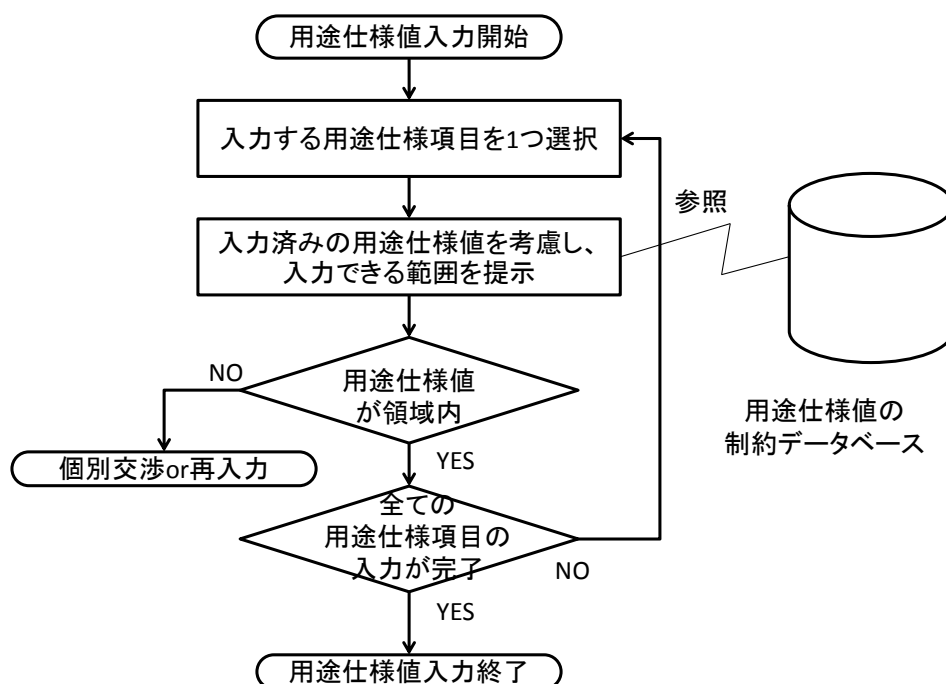


図 3.6 用途仕様の入力値判定を用いた引合交渉の流れ

まず、顧客が入力したい用途仕様項目を選択し、設定されている用途仕様項目値の範囲内で要求の入力を行う。次の用途仕様項目に値を入力する際に、用途仕様値の制約データベースを参照する。そのとき、製品機能仕様とその制約条件と入力済みの用途項目仕様値を考慮して得た、当該用途項目の入力可能な値の範囲が顧客に対して提示される。顧客は順次に用途仕様項目値を入力し、そのたびにこの先入力を行う用途仕様項目の入力可能な値の範囲が制限されていく。顧客が提示されている入力可能な範囲内で用途仕様項目値の入力を進めていき、すべての用途仕様項目に対して値の入力が済んだ時点で用途仕様値入力終了となる。顧客が入力可能な範囲を超えた用途仕様項目値を入力した場合には、予め用意している製品仕様では対応できない要求である。

このようにして、複数の用途仕様値によって入力可能な範囲が変化する仕様値範囲は、存在可能範囲を逐次計算し顧客に提示することとした。

3) 機能仕様項目の性能値区分の最適化

製品機能仕様に関連付けて製品機能仕様の性能値を実現する構成要素（部品）の対応関係を定義したモデルを構築することにより、部品コストと製品機能仕様との関係を評価することが出来る。このモデルにより、部品在庫コストを最小化可能な機能仕様の性能値区分の最適化を提案する。

①回路基板加工機の製品構造

回路基板加工機の製品構造は、同製品の生産を行っている A 社の製品構造を用いる。ここで述べる製品構造とは、製品を構成するコンポーネント、さらに部品の組み付き関係が階層的に整理されたものを言う。

回路基板加工機は、図 3.1 にあるように、大きく分けるとスピンドルを Y 軸方向に動かす機構部分と Z 軸方向に動かす機構部分、さらにテーブルを X 軸方向に動かす機構部分、さらに切削屑を吹き上げるための集塵機に分けられる。また、それぞれの軸方向への移動動力はモータとなっており、ボールネジにより各軸方向への推進力に変換されている。

対象とする製品構造は、製品を第 1 階層とすると、部品階層が最大 9 階層に整理されたものであり、部品の点数は 1012 点となっている。

②製品構造関数の設計

製品機能仕様の性能値を実現する構成要素（部品）の対応関係を製品構造関数と呼ぶ。本研究で製品構造関数の設計を行う製品機能仕様項目は、性能値がより上位の性能であれば、どのような顧客の要求も満たすことが可能な製品機能仕様項目 $S_i(i=1,2,\dots,10)$ とする(表 3.10)。表 3.6 に示した製品機能仕様項目から特徴

的な項目を抜粋している。

表 3.10 製品構造関数を設計する製品機能仕様項目

No.	製品機能仕様項目
1	全体寸法
2	テーブル寸法
3	カセット穴数
4	X軸移動量
5	Y軸移動量
6	Z軸移動量
7	X軸移動最大速度
8	Y軸移動最大速度
9	Z軸上昇最大速度
10	風量

製品構造関数は、製品機能仕様項目の性能値を入力として、必要な部品仕様を出力する関数となる。本研究では、前章で説明したように整理された製品機能仕様項目と部品仕様項目との関係を基に、穴あけ工作機械に関する文献を参考にして回路基板加工機の製品構造関数を設計した[27][38] [39] [40]。その結果、回路基板加工機においては対象とする全ての製品機能仕様項目と部品仕様項目との関係を表す関数式を設計することが出来た。

製品構造関数を設計した結果、部品仕様を出力する上で入力が必要となる製品機能仕様項目との関係を表すタイプが 2 種類に分けられることを確認した。そのタイプを表 3.11 に示す。

表 3.11 製品構造関数のタイプ

タイプ	部品仕様と設定値の関係	件数
1	1つの部品仕様と1つの設定値	20
2	1つの部品仕様と複数の設定値	2

例題製品においては、ほとんどの部品仕様が一つの製品機能仕様性能値を基に出力されるという結果になった。またそれぞれのタイプ毎に設計された製品構造関数の例を以下に紹介する。⑥に構造関数一覧を示す。

〔製品構造関数タイプ 1〕

$$y_1 = x_1 \quad (3-1)$$

[使用記号]

y_1 : Y 軸ボールネジ軸長

x_1 : Y 軸移動量

〔製品構造関数タイプ 2〕

$$y_2 = \frac{x_2(x_3 + g)}{2} \quad (3-2)$$

[使用記号]

y_2 : クロスレール L 本体横長

x_2 : 軸数


g : テーブル間距離

x_3 : テーブル横長

③部品仕込量の計算

本研究では、ある単位期間の製品の予想出荷台数 μ と標準偏差 σ が定まっており、表 3.12 に示す例のように過去の受注データを基に製品機能仕様項目の性能値区分毎の注文予測割合が整理されているものと仮定する。

表 3.12 Y 軸移動量の予測注文割合

製品機能仕様項目	Y 軸移動量				
性能値区分	10	25	40		550
予測注文割合	0.02	0.03	0.02		0.01

製品の予測出荷台数と製品機能仕様の性能値区分毎の予測注文割合、そして製品構造関数を用いることで、各部品の性能値毎の仕込量を計算する。その計算過程を上表の Y 軸移動量を例として説明する。

Y 軸移動量の性能値が変わることで仕様に変更される部品に Y 軸ボールネジがある。また Y 軸移動量の性能値と Y 軸ボールネジの部品仕様との関係は(3-2)式のように表される。この時、表 3.12 のように Y 軸移動量の予測注文割合が与えられているとすると、Y 軸ボールネジの部品仕様値毎の仕込量は、製品の予想出荷台数 μ に、部品仕様値毎に対応する Y 軸移動量の性能値における予測注文割合を掛けたものとなる。また、今回は各部品仕様の標準偏差についても同様に、製品需要量の標準偏差から予測注文割合を用いて算出されるものとする(表 3.13)。

表 3.13 Y 軸ボールネジの部品仕込量

製品機能仕様項目	Y軸移動量				
性能値区分	10	25	40	550	
予測注文割合	0.02	0.03	0.02	0.01	
<div style="text-align: center;"> 関係式: $y_1 = x_1$ </div>					
部品名	Y軸ボールネジ				
部品仕様項目	Y軸ボールネジ軸長				
部品仕様値	10	25	40	550	
仕込量	0.02 μ	0.03 μ	0.02 μ	0.01 μ	
標準偏差	0.02 σ	0.03 σ	0.02 σ	0.01 σ	

また、本研究では定期発注方式により部品の発注を行う場面を想定している。この方式は、ある発注時点からつぎの発注時点までの間隔が一定であり、ある時点に発注したものは一定のリードタイム経過後の時点に納入される方式である [41]。本研究では、この発注間隔と部品の納入リードタイムは等しいものと仮定する。また、定期発注方式における安全在庫量は以下のように求まる [42]。

$$SS = \alpha \sqrt{(T + L)} \times \sigma \quad (3-3)$$

[使用記号]

SS : 安全在庫量

α : 安全在庫係数

T : 納入 LT



L : 発注間隔

さらに、上記のような仮定の下、メーカーが持つ平均在庫量 AS は次式により算出されるものとする。

$$AS = \frac{\mu \times T}{2} + SS \quad (3-4)$$

また、本研究では部品仕様値毎の部品単価がデータとして整理されているものと考え、それらを用いて製品コスト、在庫コストの算出を行う。なお部品の単価はその仕様が上位性能であるほど高価となる場面を想定している。設定した部品単価の例を表 3.14 に示す。

表 3.14 Y 軸ボールネジの部品単価

部品名	Y軸ボールネジ				
部品仕様項目	Y軸ボールネジ軸長				
部品仕様値	10	25	40		550
単価	10000	10200	10400		20800

④ 設定値種類最適化方式の設計

製品機能仕様の性能値区分数をコストを考慮して再検討する方式について提案する。そのためにまず、製品機能仕様の性能値区分数とコストとの関係について述べ、性能値区分の決定をコストの最小化を目的関数とする組合せ最適化問題として定式化する。また、同問題を解くための遺伝的アルゴリズム(以下 GA)を用い

た最適化方式を提案する。

a) 性能値種類数（区分数）とコストの関係

製品構造関数を設計した製品機能仕様項目においては、ある性能値区分を製品機能仕様項目から削除した際、受注機会の損失を防ぐために削除した性能値に対応する部品の需要量と標準偏差をそれよりも上位性能の仕様の部品の需要量、標準偏差に加えなければならない。本研究では部品の仕様が上位性能になるほどその価格も高価になる場面を想定していることから、性能値の区分数を減らすことで購入する部品単価が増え、部品の購入コストが増加する。一方部品仕様間の標準偏差の和は、各部品の需要量が独立に正規分布に従うと仮定した場合、(3-5)式のように各値の二乗の和の平方根として計算される[28]。このことから性能値の区分数を減らすことにより標準偏差の値は次第に小さくまとまり、需要のばらつきに対して準備する安全在庫数量が少なく済む。

$$\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} < \sigma_a + \sigma_b \quad (3-5)$$

このようなことから、製品機能仕様項目における性能値の区分数は部品の購入費用(以下部品コスト)と在庫コストの双方を考慮して決定する必要がある。上記の内容をまとめると、製品機能仕様の性能値区分数とコストとの関係は表 3.15 のようになる。

表 3.15 性能値種類数（区分数）とコストとの関係

	性能値区分数	
	多	少
部品コスト	製品機能仕様に合致した仕様の部品を準備することから、性能値区分数が少ない場合よりも上位性能の部品仕込量が少ないため部品コストが低い	性能値区分数が多い場合と比較して、上位性能の部品を多く仕込む必要があるため部品コストが高い
在庫コスト	性能値区分数の分だけ準備する部品の種類数も多くなり、各部品に安全在庫を持たなければならないことから在庫コストが高い	部品の種類数が少ないことから、性能値区分数が多い場合と比べて安全在庫の数が少ないため在庫コストが低い

b) 性能値区分数最適化問題の定式化

製品機能仕様の性能値区分数は部品コストと在庫コストを考慮して決定する必要がある。そこで本研究では部品コストと在庫コストを合わせた総コストの最小化を目的関数として性能値区分数を決定する問題を組合せ最適化問題として定式化した。

$$\min \text{Cost}(V) = \sum_i^n \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{d=1}^{D_i} \left\{ G_{i,j,d} \times F_{i,j,d}(x_{i,j}) + G_{i,j,d} \left(\frac{F_{i,j,d}(x_{i,j}) \times T}{2} + \alpha H_{i,j,d}(x_{i,j}) \sqrt{(T+L)} \right) \times r \right\} \quad (3-6)$$

s.t

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & : s_{i,j} \text{を設定値とする} \\ 0 & : s_{i,j} \text{を設定値としない} \end{cases} \quad (3-7)$$

$$x_{i,j} = 1 \quad \&\& \quad (j=1 \quad \text{or} \quad x_{i,j-1} = 1) \rightarrow \begin{cases} F_{i,j,d}(x_{i,j}) = \mu_{i,j,d} \\ H_{i,j,d}(x_{i,j}) = \sigma_{i,j,d} \end{cases} \quad (3-8)$$

$$\begin{aligned}
& x_{i,j} = 1 \quad \& \& \quad x_{i,j-1} = 0 \\
& \rightarrow \begin{cases} F_{i,j,d}(x_{i,j}) = \mu'_{i,j,d} \\ H_{i,j,d}(x_{i,j}) = \sigma'_{i,j,d} \end{cases} \quad (3-9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{i,j} = 0 \quad \& \& \quad (j = 1 \quad \text{or} \quad x_{i,j-1} = 1) \\
& \rightarrow \begin{cases} F_{i,j,d}(x_{i,j}) = 0 \quad \& \& \quad \mu'_{i,j+1,d} = \mu_{i,j+1,d} + \mu_{i,j,d} \\ H_{i,j,d}(x_{i,j}) = 0 \quad \& \& \quad \sigma'_{i,j+1,d} = \sqrt{\sigma_{i,j+1,d}^2 + \sigma_{i,j,d}^2} \end{cases} \quad (3-10)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{i,j} = 0 \quad \& \& \quad x_{i,j-1} = 0 \\
& \rightarrow \begin{cases} F_{i,j,d}(x_{i,j}) = 0 \quad \& \& \quad \mu'_{i,j+1,d} = \mu_{i,j+1,d} + \mu'_{i,j,d} \\ H_{i,j,d}(x_{i,j}) = 0 \quad \& \& \quad \sigma'_{i,j+1,d} = \sqrt{\sigma_{i,j+1,d}^2 + \sigma'_{i,j,d}^2} \end{cases} \quad (3-11)
\end{aligned}$$

$$V = [x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{n,J_n}] \quad (3-12)$$

$$x_{i,j=J_i} = 1 \quad (3-13)$$

[使用記号]

i	: 製品機能仕様項目番号	($i = 1, 2, \dots, n$)
j	: 製品機能仕様項目における製品機能仕様性能値番号	($j = 1, 2, \dots, J_i$)
$S_{i,j}$: 製品機能仕様項目 i の j 番目の性能値	
d	: 製品機能仕様項目 i に対応する部品品目番号	($d = 1, 2, \dots, D_i$)
$G_{i,j,d}$: 製品機能仕様項目 i に対応する d 番目の部品の j 番目の仕様値の単価	
$\mu_{i,j,d}$: 製品機能仕様項目 i に対応する d 番目の部品の j 番目の仕様値の需要量	
$\mu'_{i,j,d}$: $x_{i,j}$ の組合せにより更新された $\mu_{i,j,d}$ の値	
$\sigma_{i,j,d}$: 製品機能仕様項目 i に対応する d 番目の部品の j 番目の仕様値の標準偏差	
$\sigma'_{i,j,d}$: $x_{i,j}$ の組合せにより更新された $\sigma_{i,j,d}$ の値	
T	: 部品の納入 LT	
L	: 発注間隔	

$F_{i,j,d}(x_{i,j})$: 製品機能仕様項目 i に対応する d 番目の部品の j 番目の仕様値の需要量
を求める関数

$H_{i,j,d}(x_{i,j})$: 製品機能仕様項目 i に対応する d 番目の部品の j 番目の仕様値の
標準偏差を求める関数

α : 安全在庫係数

r : 金利

定式化の内容について説明する。(3-6)式に表されるように、性能値の種類を決定する際の目的関数は設定値の構成 V における部品コストと在庫コストを合わせた総コスト $\text{Cost}(V)$ の最小化である。 V は製品機能仕様設定値 $s_{i,j}$ を削除するか否かを決定する変数 $x_{i,j}$ の組合せにより表される。(3-8)式から(3-11)式は変数 $x_{i,j}$ により、各部品仕様の需要量、標準偏差がどのように求まるかを表している。部品コストは $F_{i,j,d}(x_{i,j})$ により求まる部品仕様値それぞれの需要量にその単価を掛けたものとする。また、在庫コストは各部品仕様値の平均在庫数量と安全在庫数量の和にそれぞれの部品単価と金利を掛けたものとする。(3-13)式は各機能仕様項目中で最も上位性能の値は必ず性能値種類とすることを意味する。

c) GA を用いた設定値種類最適化方式

性能値種類最適化問題は、製品機能仕様項目の各性能値種類を削除するか否かを求める組合せ最適化問題である。性能値種類の総数を N とすると組み合わせ総数は 2^N 通りあり、製品機能仕様項目やその性能値種類が増えることにより全組み合わせの調査を行うことが出来ない。そこで、膨大な組み合わせの中から効率的に最適解の探索を行うアルゴリズムが必要となる。本研究では局所解に陥りづらい特徴を持つ遺伝的アルゴリズム(以下 GA)を性能値種類最適化のためのアルゴリズムとして用いる[43] [44] [45]。

d) 開発アルゴリズムの性能評価

開発したアルゴリズムのパラメータと、回路基板加工機の生産環境を以下のよう
に設定し、その性能の評価を行う。

ーアルゴリズムの設定ー

集団サイズ : 100

突然変異率 : 0.01

終了世代 : 400

解停滞に対する許容世代 : 20

ー生産環境の設定ー

μ : 300

σ : 240

α : 1.96

γ : 0.1

T : 2

L : 2

なお実験装置には次のものを使用した。

- ・ OS : Windows 7 Professional
- ・ CPU : Intel(R) Core(TM)2 Duo
- ・ メモリ : 4.00GB
- ・ アルゴリズム開発環境 : Visual Basic for Application[8]

各世代における最小コストの推移は図 3.7 のようになった。

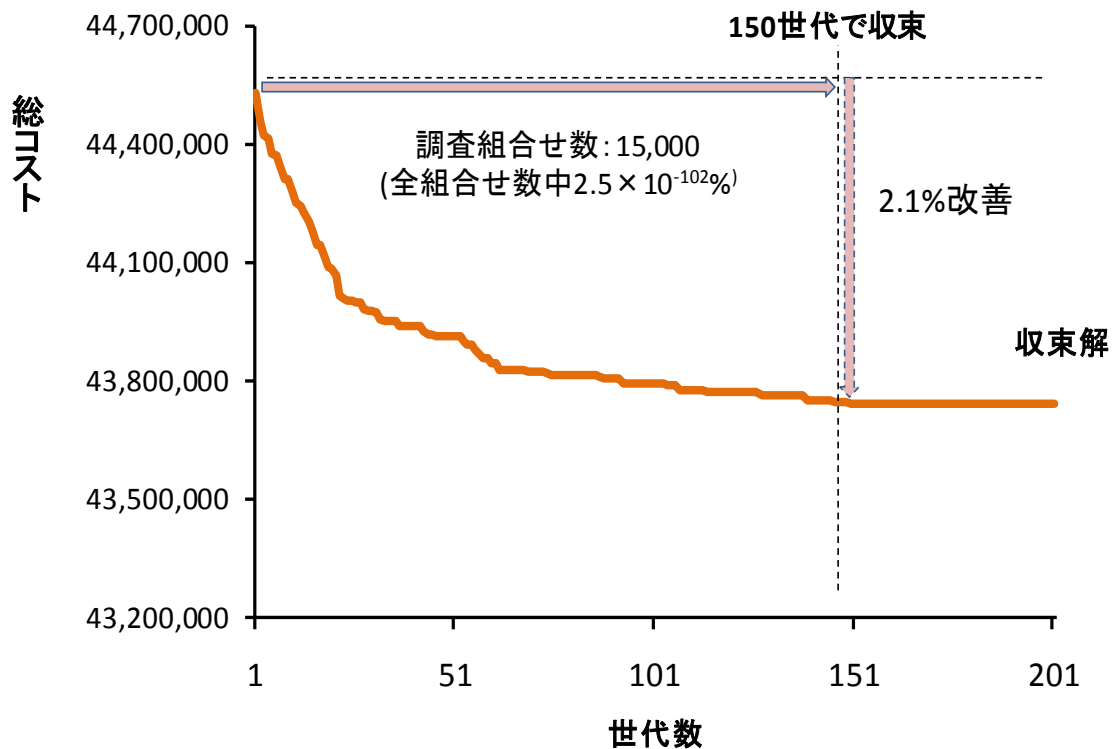


図 3.7 各世代における最小コスト

設定した条件下においては 150 世代目で収束解が得られた。集団サイズを一世代に探索する解の組合せ数とすると 15,000 通りの組合せ探索から収束解を得られたことになり、全組合せ中のおよそ $2.5 \times 10^{-102}\%$ を探索することで収束解を得ることが出来たことになる。また、初期解からは 2.1% の改善となり、所要時間は 1021 秒となった。

⑤ 製品機能仕様項目性能値区分の最適化

現状の性能値区分と提案方式により決められた性能値区分それぞれにおける部品仕様数、部品コスト、在庫量、在庫コストさらに総コストについてまとめたものを表 3.16 に示す。

表 3.16 性能値区分における結果

	部品仕様数	部品コスト	在庫量	在庫コスト	総コスト
現状	797	36,491,065	22,833	10,054,518	46,545,583
提案方式	248	37,856,348	14,214	5,846,998	43,703,346

提案方式における総コストは現状より 6.1%低く、また在庫量については現状から 37.7%削減される結果となった。

上記の結果から、提案アルゴリズムは部品コストと在庫コストの双方を考慮しながら製品機能仕様項目の性能値を決定出来ることが示された。また提案方式により製品機能仕様項目の性能値区分数がどのように変化したかについて図 3.8 に結果を示す。性能値の区分数は原案から平均して 65.2%削減される結果となった。また上記の結果から、受注可能製品仕様数は表 3.17 に示すような結果となった。

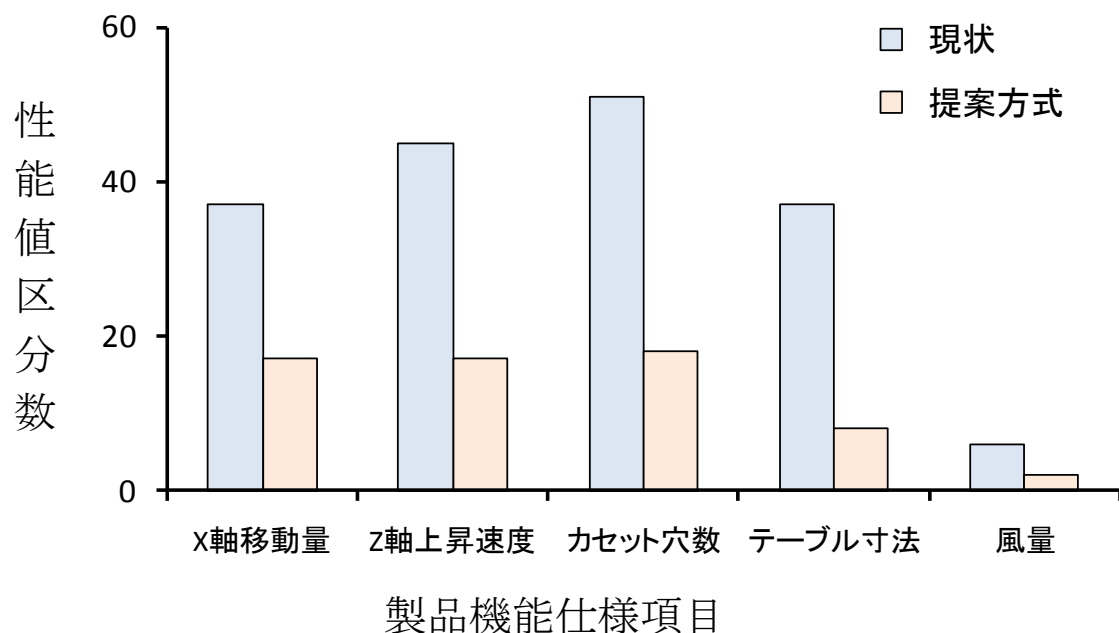


図 3.8 性能値区分数の削減例

表 3.17 受注可能製品機能仕様数

	受注可能製品仕様数
現状	9.4×10^{14}
提案方式	8.2×10^9

部品仕様の性能が向上することで上がる部品単価の刻みを、最低性能時の部品単価に価格上昇係数 β を掛けたものとした時、 β の値が変わることで原案と比較して提案方式によって削減されるコストがどのように変化するかについて分析した。結果を図 3.9 に示す。

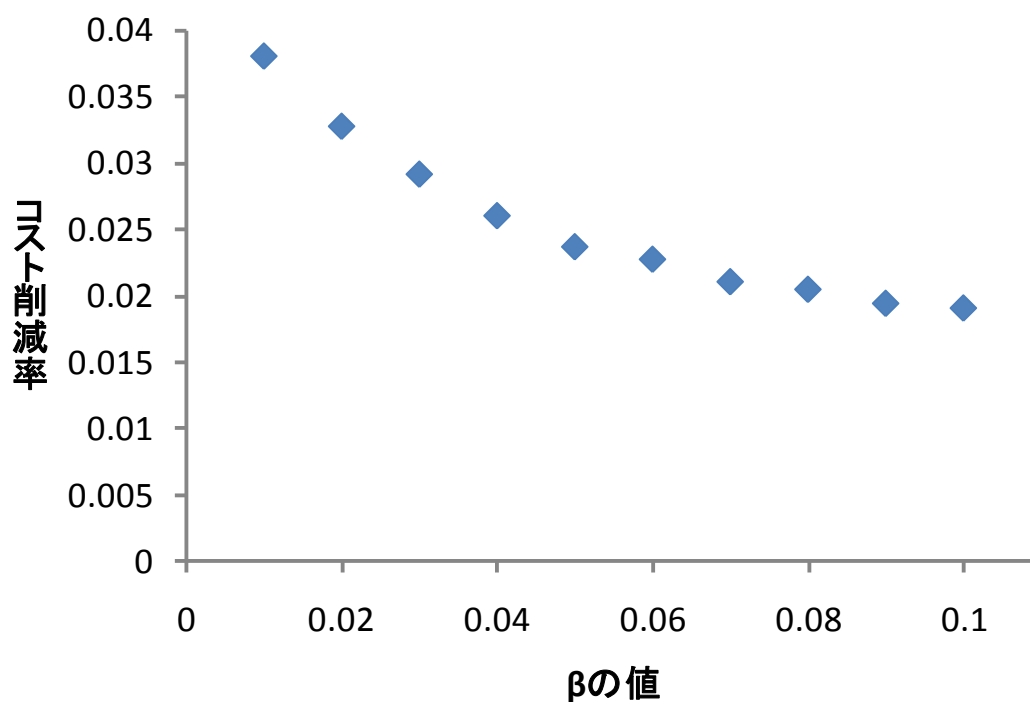


図 3.9 部品単価の上がり幅とコスト削減率

結果から部品単価の上げ幅が小さいほど提案方式によるコスト削減効果が大きいことが分かる。

⑥製品構造関数

②で述べた構造関数の一覧を以下に示す。

ここで x は製品機能仕様項目、 y は部品仕様項目であることを示している。

【製品機能仕様項目：全体寸法】

$$y1=x1/2$$

$$y2=x2$$

[使用記号]

$y1$ ：ベッド横長

$y2$ ：ベッド縦長

$x1$ ：必要設置面積横長

$x2$ ：必要設置面積縦長

【製品機能仕様項目：X 軸移動量】

$$y3=y4=y5=y6=y7=y8=y9=y10=y11=x3$$

[使用記号]

$y3$ ：X 軸ボールネジ軸長

$y4$ ：ベッドレール 1 長

$y5$ ：テーブルレール L1 長

$y6$ ：X 軸リニアスケール L 長

$y7$ ：X 軸リニアスケール R 長

$y8$ ：ベッドレール 2 長

$y9$ ：テーブルレール L2 長

$y10$ ：テーブルレール R1 長

$y11$ ：テーブルレール R2 長

$x3$ ：X 軸移動量

【製品機能仕様項目：Y 軸移動量】

$$y12=x4$$

[使用記号]

y12 : Y 軸ボールネジ軸長

x4 : Y 軸移動量

【製品機能仕様項目 : Z 軸移動量】

y13=y14=y15=y16=x5

[使用記号]

y13 : Z 軸ボールネジ軸長

y14 : クロススライドレール L 長

y15 : クロススライドレール M 長

y16 : クロススライドレール R 長

x5 : Z 軸移動量

【製品機能仕様項目 : X 軸移動最大速度】

y17=x6/d

[使用記号]

y17 : X 軸モータ回転数

d : X 軸ボールネジ軸リード (5mm)

x6 : X 軸移動最大速度

【製品機能仕様項目 : Y 軸移動最大速度】

y18=x7/e

[使用記号]

y18 : Y 軸モータ回転数

e : Y 軸ボールネジ軸リード (5mm)

x7 : Y 軸移動最大速度

【製品機能仕様項目 : Z 軸上昇最大速度】

y19=x8/f

[使用記号]

y19 : Z 軸モータ回転数

f : Z 軸ボールネジ軸リード (5mm)

x8 : Z 軸上昇最大速度

【製品機能仕様項目 : テーブル寸法】

$y_{20}=y_{22}=y_{24}=y_{26}=x_9$

$y_{21}=y_{23}=y_{25}=y_{27}=x_{10}$

$y_{28}=y_{29}=y_{30}=y_{31}=y_{32}=y_{33}=y_{34}=y_{35}=x_9/2$

$y_{36}=y_{38}=y_{40}=y_{42}=x_9$

$y_{37}=y_{39}=y_{41}=y_{43}=x_{10}-h$

$x_{11}=1 \Rightarrow y_{44}=y_{45}=0$

$x_{11} \neq 1 \Rightarrow y_{44}=y_{45}=g(x_{11}/2-1)+x_{11}/2 \cdot x_9$

$x_{11}=1 \Rightarrow y_{46}=y_{47}=0$

$x_{11} \neq 1 \Rightarrow y_{46}=y_{47}=g(x_{11}/2-1)+x_{11}/2 \cdot x_9$

$y_{48}=y_{49}=y_{50}=y_{51}=x_9(x_{11}/2)+g(x_{11}/2)$

$y_{52}=y_{53}=y_{54}=y_{55}=x_9+g$

[使用記号]

y20 : テーブル本体 L1 横長

y21 : テーブル本体 L1 縦長

y22 : テーブル本体 L2 横長

y23 : テーブル本体 L2 縦長

y24 : テーブル本体 R1 横長

y25 : テーブル本体 R1 縦長

y26 : テーブル本体 R2 横長

y27 : テーブル本体 R2 縦長

y28 : ガイドプレート AL1 横長

y29 : ガイドプレート BL1 横長

y30 : ガイドプレート AL2 横長
y31 : ガイドプレート BL2 横長
y32 : ガイドプレート AR1 横長
y33 : ガイドプレート BR1 横長
y34 : ガイドプレート AR2 横長
y35 : ガイドプレート BR2 横長
y36 : クランプベース L1 横長
y37 : クランプベース L1 縦長
y38 : クランプベース L2 横長
y39 : クランプベース L2 縦長
y40 : クランプベース R1 横長
y41 : クランプベース R1 縦長
y42 : クランプベース R2 横長
y43 : クランプベース R2 縦長
y44 : アーム L 全長
y45 : アーム R 全長
y46 : タイバーL 全長
y47 : タイバーR 全長
y48 : クロスレールレール L 長
y49 : クロスレール L 本体横長
y50 : クロスレール R 本体横長
y51 : クロスレールレール R 長
y52 : タイバーA 横長
y53 : タイバーB 横長
y54 : タイバーD 横長
y55 : タイバーC 横長
x9 : テーブル横長
x10 : テーブル縦長
x11 : 軸数
g : テーブル間距離 (200mm)

h : ガイドプレート縦長 (500mm)

【製品機能仕様項目：主軸回転数】

y56=x12

[使用記号]

y56 : 主軸回転数

x12 : 主軸回転数

【製品機能仕様項目：ドリル径】

y57=x13

[使用記号]

y57 : ドリル径

x13 : ドリル径

【製品機能仕様項目：カセット穴数】

y58=y59=y60=y61=x14

x14=50 ⇒ y62=y63=y64=y65= SS

x14=100 ⇒ y62=y63=y64=y65= S

x14=150 ⇒ y62=y63=y64=y65= M

x14=200 ⇒ y62=y63=y64=y65= L

x14=250 ⇒ y62=y63=y64=y65= LL

x14=300 ⇒ y62=y63=y64=y65= LLL

[使用記号]

y58 : カセット本体 L1 穴数

y59 : カセット本体 L2 穴数

y60 : カセット本体 R1 穴数

y61 : カセット本体 R2 穴数

y62 : ADC プレート L1 サイズ

y63 : ADC プレート L2 サイズ

y64 : ADC プレート R1 サイズ

y65 : ADC プレート R2 サイズ

x14 : カセット穴数

【製品機能仕様項目：主軸チャック最大把握径】

y66= x15

[使用記号]

y66 : 主軸チャック最大把握径

x15 : 主軸チャック最大把握径

【製品機能仕様項目：エア最大圧力】

y67= x16

[使用記号]

y67 : 集塵機最大エア圧力

x16 : 最大エア圧力

3.2 製品仕様設計ルールの体系化

(1) 研究課題

用途仕様を製品機能仕様に変換する際に用いる仕様間の関係規則（ルール）を抽出し、ルールと仕様の相互接続関係を表現した製品仕様設計知識の体系化を行う。

(2) 従来研究

設計自動化の研究領域で様々な事例が報告されている[35]。例えば、石田は、エレベーターの設計支援システムを開発する過程で、用途仕様と製品仕様の関連規則（設計ルール）を制約ネットワーク表現を用いて体系化するアプローチをとっている[36]。制約ネットワークとは設計仕様項目と仕様項目間の関係規則をネットワーク表現したものであり、仕様項目および規則の接続関係を把握することができ、接続関係を辿ることで規則の整理が容易になる。

本研究では、石田のアプローチを参考に制約ネットワーク表現を用いてルールの体系化を図る。但し、石田のアプローチは、制約（ルール）表現に機能の上位互換性が未考慮である点や制約ネットワークの階層が少ない点などから、そのままでは本研究が対象とする工作機械のベース受注仕様決定の為のルール抽出には適用できない。

(3) 製品仕様設計ルールの体系化の手順

以下の手順でルールの体系化を図る。

STEP1：用途仕様項目と製品機能仕様項目の関係有無を整理

前節で実施した用途仕様項目の必要十分性の確認の際の対応有無の検討を基に関係表として整理する。

STEP2：用途仕様項目と製品機能仕様項目の関係を制約ネットワークとして整理

STEP3：切削理論や製品構造の文献を参考に制約関係を制約式を設計

（４）ルールの体系化

（３）で述べた手順に従った体系化の結果を以下に示す。

１）用途仕様項目と製品機能仕様項目の関係有無を整理

回路基板穴明加工機に関して設計した製品機能仕様項目と用途仕様項目の各項目の関係の有無を製品の構造、加工技術に関する文献を参考にして、対応表を作成して整理した[27]。その際に、用途仕様項目のうち製品の機能に直接関係の無い購入価格と納期を除いた用途仕様項目に対し整理を行った。その結果を表 3. 18 に示す。

表 3.18 製品機能仕様項目と用途仕様項目間の関係対応表

用途仕様 製品機能仕様			what						where						how								
			入 力		出 力				稼働環境			設置環境			搬入環境		生産性		経済性				
基板の寸法（X）	基板の寸法（Y）	基板の寸法（Z）	穴径	穴の数	穴の位置	内壁粗さ	加工精度	電源電圧	電源周波数	気温	湿度	設置場所寸法（X）	設置場所寸法（Y）	設置場所寸法（Z）	床耐圧	搬入可能な横幅	搬入可能な高さ	月間の生産枚数	基板重ね加工枚数	稼働シフト	ランニングコスト		
主機能	加工対象	穴あけ																					
	加工範囲	テーブルのX軸方向移動距離	1																				
		主軸のY軸方向移動距離		1																			
		主軸のZ軸方向移動距離			1	1	1	1												1	1	1	
	加工速度	主軸回転数			1																		
		主軸送り速度			1		1	1													1	1	1
		X軸最大移動速度			1		1	1													1	1	1
		Y軸最大移動速度			1		1	1													1	1	1
		Z軸最大移動速度			1		1	1													1	1	1
		並行穴あけ処理数			1		1	1													1	1	1
	加工精度	X軸最小移動距離							1														
		Y軸最小移動距離							1														
		内壁粗さ						1															
		加工できるワークの寸法（X）	1																				
		加工できるワークの寸法（Y）		1																			
加工できるワークの寸法（Z）				1																			
補助機能	工具の交換	ドリル交換方式																					
		ドリル径検出方式																					
		交換時期の確認																					
	ワークの取替	ワーク交換方式				1	1													1	1	1	
	副産物除去	集塵流量																					
		集塵負圧																					
工具異常検知	ドリルの破損確認方式																						
環境機能	形態	機械の寸法（X）										1			1	1							
		機械の寸法（Y）												1		1	1						
		機械の寸法（Z）													1			1					
		機械の重量														1							
	稼働環境	対応電圧							1														
		対応周波数								1													
		電源容量																				1	
		周囲気温									1												
		周囲湿度										1											

2) 用途仕様項目と製品機能仕様項目の関係を制約ネットワークとして整理

表 3.18 に示した用途仕様と製品機能仕様の対応関係表を基に、仕様項目間の接続関係を明示した制約ネットワーク形式により整理した。図 3.10 に制約ネットワ

ーク表現を示す。(用途仕様項目と製品機能仕様項目とが 1 : 1 対応の部分は除いた)

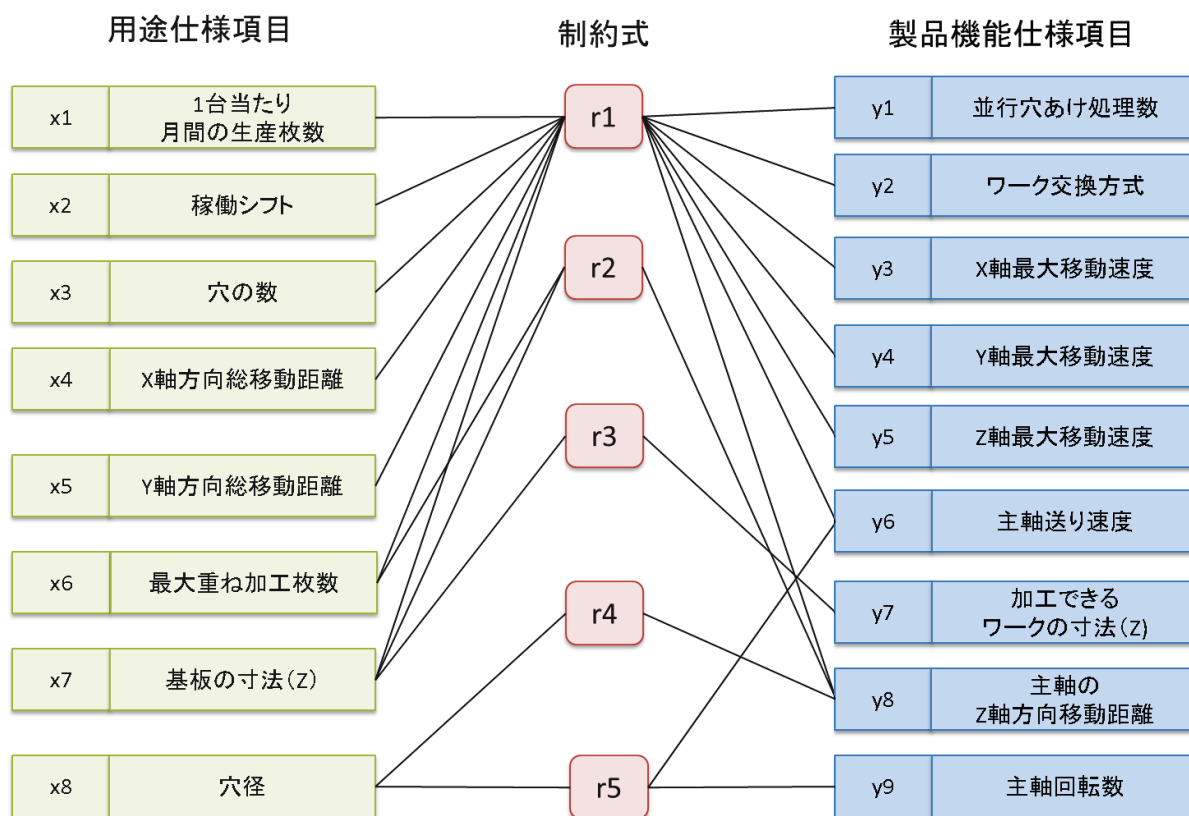


図 3.10 制約ネットワーク表現

図中で用途仕様 X8 の「穴径」と製品機能仕様項目 Y6「主軸送り速度」および Y9「主軸回転数」は、制約式「r 5」で接続されていることが分かる。この接続関係を参考に制約式の設計を行う。

3) 切削理論や製品構造の文献を参考に制約式を設計

①制約ネットワークを用いた用途仕様と機能仕様間の制約の数式化

制約式の設計を行うにあたり、図 3.10 に示した用途仕様項目と製品機能仕様項目の対応関係を示す制約ネットワークを基に、用途仕様項目と製品機能仕様項

目の間の制約関係を 22 の制約に整理した。その際、用途仕様項目である穴の位置を X 軸方向総移動距離、Y 軸方向総移動距離の 2 つの用途仕様項目として分けて整理を行った。その後、整理した制約に関して回路基板穴明加工機の仕組み、加工技術に関する文献[33]を参考にして、制約の数式化を行った。

以下に 22 の制約式示す。

本研究で対象としたもの及び理解の困難と思われる制約式に関しては解釈をつけてある。変数については最後尾で説明する

◇制約式 1 ◇

$$\frac{9600x_2x_6y_1}{x_1} - y_2 \geq x_3 \times \left(\frac{2y_8 - x_6x_7}{y_5} + \frac{x_6x_7}{y_6} \right) + \frac{x_4}{y_3} + \frac{x_5}{y_4} \quad (3-14)$$

・加工サイクルで、実際の加工サイクル時間は説明する機能仕様から求められる加工サイクル時間より短い必要があるという制約。

◇制約式 2 ◇

$$y_8 \geq x_6x_7 + d \quad (3-15)$$

・Z 軸の移動範囲は、加工するワークの総厚みと一定の遊びの距離を加えたものより長い必要がある。

◇制約式 3 ◇

$$y_7 \geq x_7 \quad (3-16)$$

・加工できるワークの寸法の最大値は、基盤の寸法より大きい必要がある。

◇制約式 4 ◇

$$x_6 \cdot y_7 \leq 15.96x_8 \quad (x_8 \leq 0.75) \quad (3-17)$$

$$x_6 \cdot y_7 \leq (5.01x_8 + 1.65) \quad (x_8 > 0.75) \quad (3-18)$$

◇制約式 5 ◇

・切削理論より、回転数は、送り速度と穴径によって求められる理論値より大きい必要がある。

$$y_9 \geq \frac{1000y_6}{\pi x_8} \quad (3-19)$$

◇制約式 6 ◇

$$y_{10} = x_9 \quad (3-20)$$

◇制約式 7 ◇

製品機能としての X 軸と Y 軸の座標決定の精度は、回路基板の穴あけで求められる座標の精度より高い必要があることを、ユーグリッド距離で示す。

$$y_{11}^2 + y_{12}^2 \leq x_{10}^2 \quad (3-21)$$

◇制約式 8 ◇

$$y_{13} \geq x_{11} \quad (3-22)$$

◇制約式 9 ◇

$$y_{14} \geq x_{11} \quad (3-23)$$

◇制約式 10 ◇

$$y_{15} \geq x_{12} \quad (3-24)$$

◇制約式 11 ◇

$$y_{16} \geq x_{12} \quad (3-25)$$

◇制約式 12 ◇

$$y_{17} \leq x_{13} \quad (3-26)$$

◇制約式 13 ◇

搬入に関する制約として、プリント基板穴あけ機の寸法 X、Y のいずれかが搬入口の寸法より小さい必要がある。

$$y_{17} \leq x_{14} \text{ または } y_{18} \leq x_{14} \quad (3-27)$$

◇制約式 14 ◇

$$y_{18} \leq x_{15} \quad (3-28)$$

◇制約式 15 ◇

$$y_{19} \leq x_{16} \quad (3-29)$$

◇制約式 16 ◇

$$y_{19} \leq x_{17} \quad (3-30)$$

◇制約式 1 7 ◇

機械の寸法 X、Y の積を床との設置面積と考え、それと重量によって与えられる圧力値が顧客の生産環境の床耐圧より小さい必要がある。

$$\frac{y_{20}}{y_{17}y_{18}} \leq 10^4 \times x_{18} \quad (3-31)$$

◇制約式 1 8 ◇

顧客の生産環境の気温を範囲に含むように製品機能仕様項目の性能値を設定する。

$$y_{21MIN} \leq x_{19} \leq y_{21MAX} \quad (3-32)$$

◇制約式 1 9 ◇

顧客の生産環境の湿度を範囲に含むように製品機能仕様項目の性能値を設定する。

$$y_{22MIN} \leq x_{20} \leq y_{22MAX} \quad (3-33)$$

◇制約式 2 0 ◇

$$x_{21} = y_{23} \quad (3-34)$$

◇制約式 2 1 ◇

$$x_{22} = y_{24} \quad (3-35)$$

◇制約式 2 2 ◇

ランニングコストに影響する製品機能仕様項目が電源容量のみであるとした制約。

[使用記号]

◆用途仕様項目◆

x1 = 月間生産枚数

x2 = 稼働シフト

x3=穴の数

x4 = X 軸方向総移動距離

x5 = Y 軸方向総移動距離

x6 = 最大重ね加工枚数

x7 = 基盤の寸法(Z)

x8 = 穴径

x9 = 内壁粗さ

x10 = 加工精度
x11 = 基板の寸法 (X)
x12 = 基盤の寸法 (Y)
x13 = 設置場所の寸法 (X)
x14 = 搬入可能な横幅
x15 = 設置場所の寸法 (Y)
x16 = 設置場所の寸法 (Z)
x17 = 搬入可能な高さ
x18 = 床耐圧
x19 = 気温
x20 = 湿度
x21 = 電圧
x22 = 周波数
x23 = ランニングコスト

◆製品機能仕様項目◆

y1 = 最大並行穴明処理数
y2 = ワーク交換方式
y3 = X 軸最大移動速度
y4 = Y 軸最大移動速度
y5 = Z 軸最大移動速度
y6 = 主軸最大送り速度
y7 = 加工できるワークの寸法 (Z)
y8 = 主軸の Z 軸方向移動距離
y9 = 主軸最大回転数
y10 = 内壁粗さ
y11 = X 軸最小移動距離
y12 = Y 軸最小移動距離
y13 = 加工できるワークの寸法 (X)
y14 = テーブルの X 軸方向移動距離

y15 = 加工できるワークの寸法 (Y)

y16 = 主軸の Y 軸方向移動距離

y17 = 機械の大きさ (X)

y18 = 機械の大きさ (Y)

y19 = 機械の大きさ (Z)

y20 = 機械の重量

y21 = 周囲気温

y22 = 周囲湿度

y23 = 電源電圧

y24 = 電源周波数

y25 = 電源容量

d = 基板上部とドリルの間の遊び (定数)

従来研究においては、製品の制約関係の表現方法として、式タイプ、表タイプ、手続きタイプといった表現が取られてきた[36][37]。本研究では、製品機能・性能値の上位互換性が表現しやすい「不等式」の形式にて制約式を定義した。

② 制約式の分類

設計した用途仕様、製品仕様の間関係を表す 22 の制約式について、その関係する用途仕様項目、製品機能仕様項目の数によって分類を行った。その結果、表 3.19 に示す 3 つのタイプに分類できることを確認した。

表 3.19 制約式のタイプ

タイプ	関係する用途仕様項目と製品機能仕様項目の数	件数
1	1つの用途仕様項目値によって1つの製品機能仕様項目性能値が決まる	16
2	複数の用途仕様項目値によって1つの製品機能仕様項目性能値が決まる	1
3	1つまたは複数の用途仕様項目値によって複数の製品機能仕様項目性能値が決まる	5

制約式の例をこの分類に当てはめると、(3-14)式はタイプ 3、(3-15)式はタイプ 2、(3-16)式はタイプ 1 である。各タイプの制約式の特徴について説明をしながら、関連する用途仕様項目、製品機能仕様項目を示していく。

用途仕様値から製品機能仕様値を決める際に、制約式のタイプ 1 は、顧客から聞き出した用途仕様値が設定された範囲内であれば制約を満足させる機能仕様値が必ず用意されている。制約式のタイプ 1 に関係する用途仕様項目と機能仕様項目を表 3.20 に示す。

表 3.20 制約式タイプ 1 に関係する用途仕様項目と製品機能仕様項目

No.	用途仕様項目	製品機能仕様項目
1	基板の寸法(X)	加工できるワークの寸法(X)
2	基板の寸法(X)	テーブルのX軸方向移動距離
3	基板の寸法(Y)	加工できるワークの寸法(Y)
4	基板の寸法(Y)	主軸のY軸方向移動距離
5	基板の寸法(Z)	加工できるワークの寸法(Z)
6	穴径	主軸のY軸方向移動距離
7	内壁粗さ	内壁粗さ
8	電源電圧	対応電圧
9	電源周波数	対応周波数
10	気温	周囲気温
11	湿度	周囲湿度
12	設置場所寸法(X)	機械の寸法(X)
13	設置場所寸法(Y)	機械の寸法(Y)
14	設置場所寸法(Z)	機械の寸法(Z)
15	搬入可能な高さ	機械の寸法(Z)
16	ランニングコスト	電源容量

用途仕様値から製品機能仕様値を決める際に、制約式のタイプ 2 は、顧客から聞き出した用途仕様項目の属性値が設定された範囲内であっても、用途仕様値の組合せによっては制約を満足させる製品仕様値が用意されていないことがある。制約式のタイプ 2 に関係する用途仕様項目と製品仕様項目を表 3.21 に示す。

表 3.21 制約式タイプ 2 に関する用途仕様項目と製品機能仕様項目

No.	用途仕様項目	製品機能仕様項目
1	基板の寸法(Z) 基板重ね加工枚数	主軸のZ軸方向移動距離

用途仕様値から製品機能仕様の性能値を決める際に、制約式のタイプ 3 は、どの機能仕様の性能値の組み合わせであれば制約を満足させることができるかを考えて行わなければならない。制約式のタイプ 3 に関する用途仕様項目と製品機能仕様項目を表 3.22 に示す。

表 3.22 制約式タイプ 3 に関する用途仕様項目と製品機能仕様項目

No.	用途仕様項目	製品機能仕様項目
1	基板の寸法(Z) 穴の数 X軸方向総移動距離 Y軸方向総移動距離 月間の生産枚数 基板重ね加工枚数 稼働シフト	主軸のZ軸方向移動距離 主軸送り速度 X軸最大移動速度 Y軸最大移動速度 Z軸最大移動速度 並行穴あけ処理数 ワーク交換方式
2	穴径	主軸回転数 主軸送り速度
3	加工精度	X軸最小移動距離 Y軸最小移動距離
4	搬入可能な横幅	機械の寸法(X) 機械の寸法(Y)
5	床耐圧	機械の寸法(X) 機械の寸法(Y) 機械の重量

また、製品機能仕様の性能値を決める際に、複数の制約式によって性能値の決まる仕様項目が存在することが、仕様値の決定をより複雑にしている。これらの関係をうまく整理し、活用することで、顧客からが入力した用途仕様値を基にして製品機能仕様の性能値を決めることや、性能値を決められないような用途仕様が入力されることを防ぐことが可能になる。

第4章 受注仕様設計ロジックの開発

受注仕様の仕様値決定のロジックは、「機能・性能の上位互換性」を前提に、顧客の要求を満足する最も廉価な仕様（低い性能値の仕様）をベース仕様として出力する。入力された用途仕様値に対して、製品機能仕様項目の低い性能値から順次に、制約式を満たせるか深さ優先探索にて解を求める。なお、目的関数は、最下位性能値との乖離距離の最小化とした。得られた初期解に対して、バックトラック方式による解の改善探索を行うことにより、低コストな仕様をベース仕様として探索できる。さらに、処理時間を短縮する為に、制約式との関連度の高い仕様項目順に値の探索を行なうようにし、仕様項目のチェック回数を少なくする工夫をした。 1.2×10^7 通りの解候補がある工作機械の事例では、解が1分以内で導出可能なことを確認した。

受注仕様の設計処理の概要について図 4.1 に示す。

設計処理システムは入力された用途仕様項目の値に対して、制約関係規則の矛盾の有無をチェックする。その際に、用意できる機能仕様の最良（大）値を用いて判定を行なう。最良（大）値でも対応できない場合に、顧客へ用途仕様項目の値を変更するアドバイスを行なう。

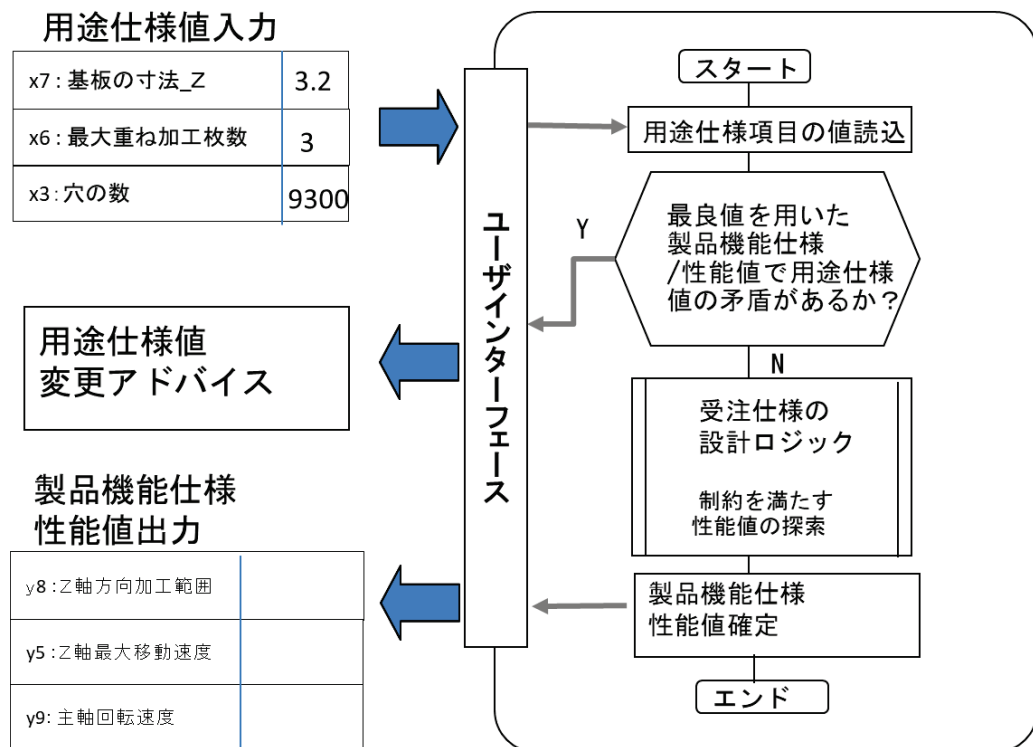


図 4.1 受注仕様設計処理の概要

入力された用途仕様項目の値に矛盾がないと判定された場合は、以下の処理を行い、機能仕様項目の性能値を決定する。

- ・機能仕様項目の値を初期値に設定
- ・制約関係規則が矛盾していないかの判定
- ・制約関係規則に照らして機能仕様項目の性能値に矛盾がある場合、機能仕様項目の値を変更し制約が満たされるまで探索
- ・制約関係規則を満たす機能仕様項目の性能値を出力する。

4.1 研究課題と従来研究

(1) 研究課題

用途仕様で定義された顧客ニーズをもとに、3.2 節で抽出した関係規則（制約）を満たすベース受注仕様を効率よく導出する。

(2) 従来研究

設計自動化研究として類似の研究報告は多数あるが、顧客対面にてリアルタイムに受注仕様案が決定できる高速処理の報告は少ない。

設計の自動化研究領域では設計規則を満たす設計仕様値の設定処理は制約充足問題（CSP）として定義されている[46]。

基本的算法としてバックトラックを基本とした探索による方法がとられることが多い。探索木全体を探索しないで解を求める探索効率を上げることが課題である。バックトラック法とは、探索木を利用した深さ優先探索のアルゴリズムの一種である。探索木とは、図 4.2 に示されるような、状態空間を視覚化し、網羅的に捉えたグラフ構造である。

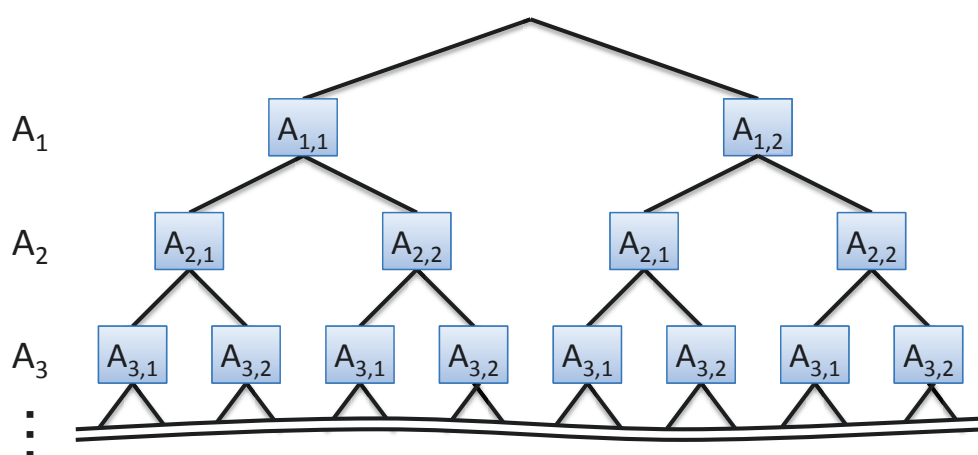


図 4.2 探索木の例(2 分探索木)

バックトラック法では、上位の変数から順に値の割り当てを行っていく(図 4.2 では、上位から、 A_1, A_2, A_3, \dots)。そして、解となる可能性のない経路を早めに検知して後戻りをする。具体的には変数に値を割り当てていく過程で、制約のある変数に値が割り当てられた際、その制約のチェックを行い制約違反が生じていれば変数に別の値の割り当てを行う。それでも制約違反が解消されない場合は、一つ上位の変数に戻り、再度値の割り当てをやり直す。このことにより、部分的にしか変数に値が割り当てられていない状態でも制約の違反が発生した時点でその割り当ては失敗と判断し、その先の探索を行う手間を排除することが可能となる。例えば、図 4.2 の A_1 に $A_{1,1}$ を割り当て次に A_2 に割り当てた $A_{2,1}$ が制約違反を起こしているとき、 $A_{2,2}$ を割り当てる。それでも制約違反を引き起こす場合には、 A_1 に戻って割り当てをやり直す。このことにより、 A_3 より先の割り当てを行うことなく、 $A_{1,1}$ の枝の先には制約を満たす解が存在しないことが分かる。バックトラック法は探索空間の全域を対象としてすべての可能性を探索するもので、アルゴリズムの完全性を保証している。完全性とは探索空間に解が存在すれば必ず見つけられることと、解がなければ必ず存在しないことを保証するものである。以下に 個の変数の集合を V 、探索空間を D 、制約の集合を C とした時のバックトラック法のアルゴリズムの詳細を示す。

バックトラック法のアルゴリズムについて説明する(図 4.3)。アルゴリズム内の i は選択されている変数を意味し、2. は一番上位の変数が選択されたことを示している。3. で探索空間 D'_i の初期化を行っている。4. は選択されている変数が存在している間、5.~10. を繰り返すことを示している。5. で、選択されている変数で制約を満たすものを v_i としている。6.、7. は v_i が存在しない場合、一つ上位の変数を選択し直すことを、8.、9.、10. は v_i が存在する場合、一つ下位の変数を選択し、得られた v_i を加えた探索空間 D_i を新たな D'_i としている。11.、12. は、5.~10. の繰り返しが終わった段階で、 i が 0 であったなら、解なしを、13.、14. はそれ以外であったなら、それまでに得られた v_i の集合を解として返すことを示している。

procedure BACKTRACK

入力：制約ネットワーク $R=(V, D, C)$

出力：解又はネットワークが不整合(解が存在しない)との通知

```
1.  begin
2.     $i \leftarrow 1$ 
3.     $D'_i \leftarrow D_i$ 
4.    while  $1 \leq i \leq n$ 
5.      SELECT-VALUE から求めた値を  $v_i$  とする
6.      if  $v_i$  is not
7.         $i \leftarrow i - 1$ 
8.        else
9.           $i \leftarrow i + 1$ 
10.          $D'_i \leftarrow D_i$ 
11.       if  $i = 0$ 
12.         return "inconsistent"
13.       else
14.         return 解  $\{v_1, \dots, v_n\}$ 
15.   end
```

図 4.3 バックトラックアルゴリズム[47]

4.2 設計ロジックの設計

機能仕様項目の性能値決定問題を制約充足問題として定義する．制約充足問題とは，複数の制約関係規則を満たす状態を見つけることを目的とした数学問題であり，①変数の集合，②各変数の領域，③変数間の制約式の集合の3項目を具体的に示すことによって定義される．

機能仕様項目の値を選定する問題を制約充足問題に当てはめ，次のように定義する．

[既知データ]

n : 用途仕様項目の数

j : 用途仕様項目の番号 $j \in \{1, 2, \dots, n\}$

x_j : j 番目の用途仕様項目の値 $\forall j \in \{1, 2, \dots, n\}$

m : 機能仕様項目の数

k : 機能仕様項目の番号 $k \in \{1, 2, \dots, m\}$

D_k : k 番目の機能仕様項目の値 $\forall k \in \{1, 2, \dots, m\}$

離散値として与えられる

o : 制約式の数

i : 制約式の番号

$\{R_i\}$: 制約式の集合 $i \in \{1, 2, \dots, o\}$

i 番目の制約式を R_i とする

[決定変数]

y_k : 入力された用途仕様値を満足させる k 番目の機能仕様項目の値

$\forall k \in \{1, 2, \dots, m\}$

[制約]

$$y_k \in D_k \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (4-1)$$

$$\prod_{i=1}^o CK_i = 1 \quad (4-2)$$

$$CK_i = \begin{cases} 1 & : R_i \text{を満たす} \\ 0 & : R_i \text{を満たさない} \end{cases} \quad (4-3)$$

本処理では、顧客の要求を満足する最も性能値が低い（コストが低くなる）仕様をベース受注仕様として導出することが求められる。そこで、式(4-4)に示す、最小性能値区分からの乖離距離を最小化する目的関数を設定した。

$$\min \sum_i (Ki - Ei) \quad (4-4)$$

i : 仕様項目No.

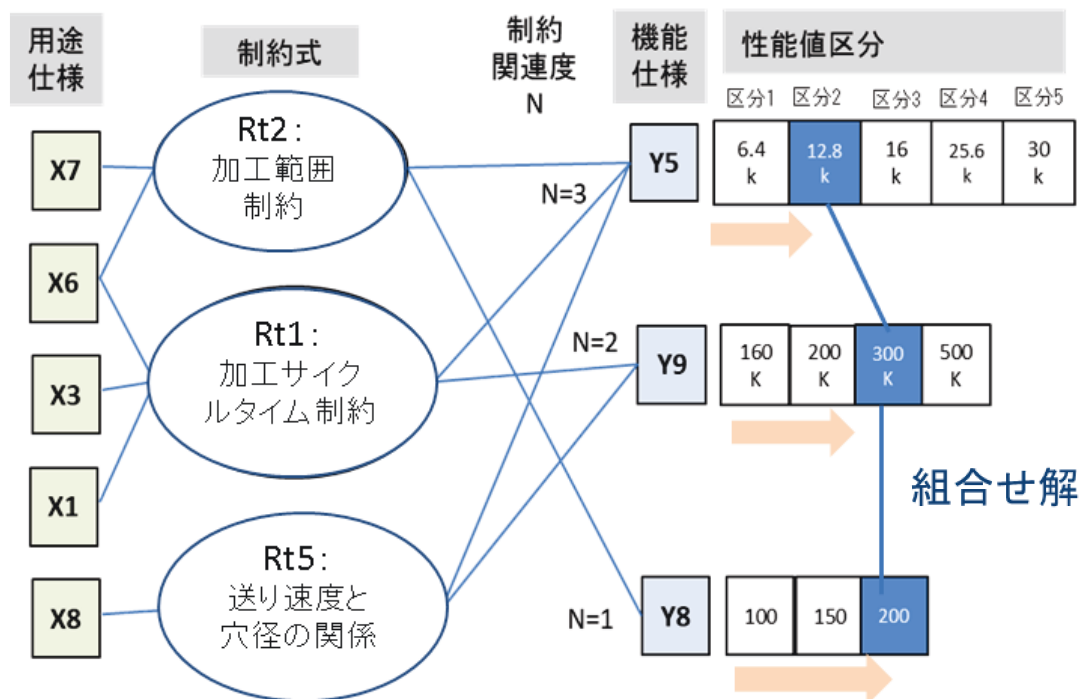
Ki : 決定された性能値区分の番号

Ei : i 番目の仕様項目の最小性能値区分No. (=1)

機能仕様項目の値決定問題は、与えられた用途仕様項目の値のセットに対して制約式を満足させる機能仕様項目の値の組み合わせを探索する問題である。その際、機能仕様項目が m 項目、 k 番目の機能仕様項目に設定された値の数が r_k と設定されているとすると、全ての機能仕様項目の値の組み合わせは

$\prod_{k=1}^m r_k$ と、指数関数的に増加するため、探索を行なう範囲が広くなりすぎてしまう。

全ての機能仕様項目の値の組み合わせ数は莫大にあるため、制約充足問題を解くためのアルゴリズムであるバックトラック法を用いて機能仕様項目の性能値決定問題を解く。図4.4に決定処理の概要を示す。



関連する制約式を全て満たす解（性能値区分の組合せ）を導出する

図 4.4 機能仕様項目の性能値決定処理の概要

1) バックトラック法（深さ優先探索）による初期解の探索

機能仕様項目をどのような順番で木探索を行なうかが探索回数に大きく影響するため[46]、どの機能仕様項目から値の割り当てを行えばよいかを次のように判定することとした。

機能仕様項目の値を割り当てる順番を、制約式との関連度の高い順に決定する（制約の関連度による仕様値決定順）。

より多くの制約式と関係している（図 4.4 に於いては機能仕様項目から引かれている線の本数が多い）機能仕様項目から順番に制約式を満たす値が見いだされるまで機能仕様項目の値を変化させて探索を行なう。多数の制約に関係する仕様項目の値を先に決めることで探索回数を小さくすることができる。

図 4.5 に制約の関連度による仕様値決定順序を用いた初期解の探索過程を示す。

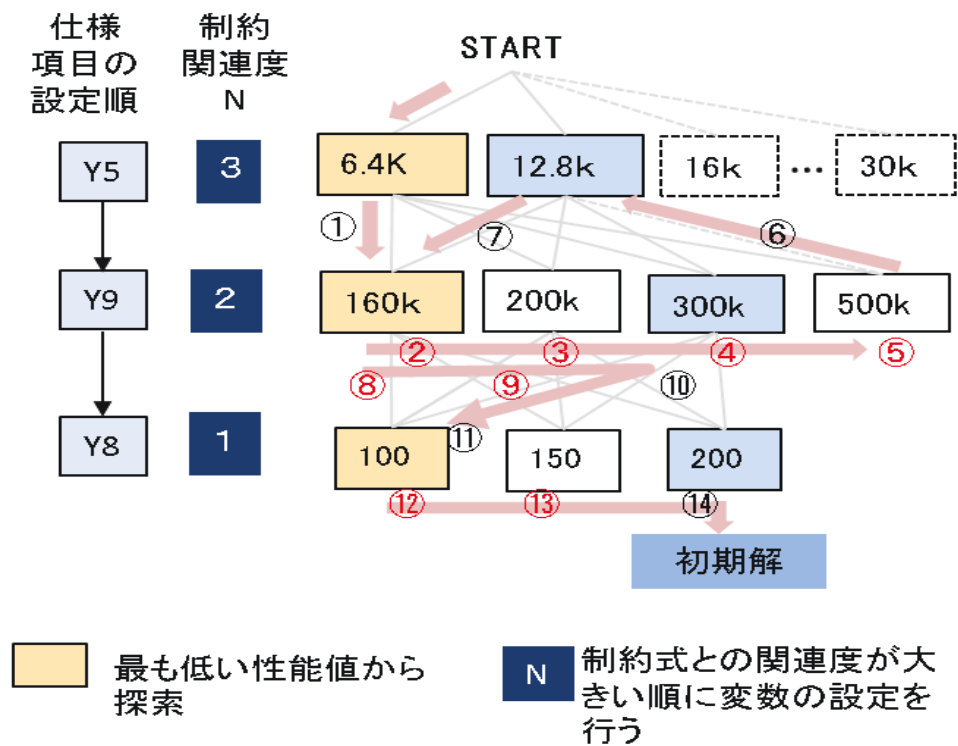


図 4.5 制約の関連度による仕様値決定順序を用いた初期解の探索過程

探索の過程は以下の通りとなる。

- ① スタート depth=depth+1
- ② ③④⑤ : 制約 Rt1, Rt5 で矛盾が発生
- ⑥バックトラック depth=depth-1 Y5 の性能値区分を+1 する
- ⑦depth=depth+1
- ⑧⑨ 制約 Rt1 で矛盾が発生
- ⑩制約 Rt1, Rt5 とともに成立
- ⑪ depth=depth+1
- ⑫⑬ 制約 Rt2 で矛盾が発生
- ⑭ 制約 Rt2 成立

以上のように計 14 回の探索処理を行い初期解を導出する。

2) バックトラックによる組合せ解の改良

導出された初期解を基にバックトラックにより「最も低い性能値区分」からの乖離距離が縮小化できるように解を改良する。

各性能値区分と最小性能値区分の乖離距離を探索中に求め、最小な乖離距離が求まるまで仕様階層を変更しながら解を変更する。

図 4.6 に解の改良処理フローを示す。

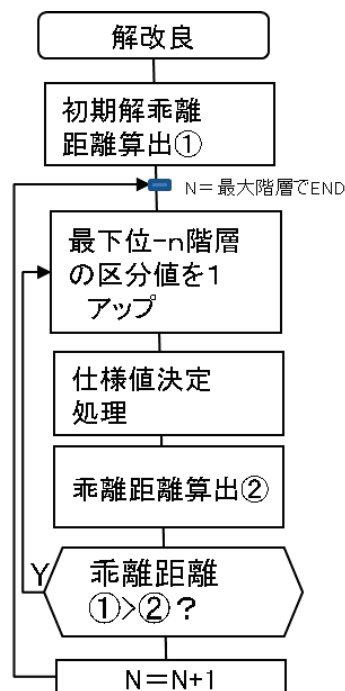


図 4.6 解の改良処理フロー

図 4.7 に解の改良過程について示す。初期解が $Y5=12.8\text{ k}$ 、 $Y9=300\text{ k}$ 、 $Y8=200$ として得られている状態からスタートする。この時、乖離距離は 2 となる。

まず下層の仕様項目 $Y9$ の性能値区分を 300 k から 500 k に 1 ランクアップすることで下層の $Y8$ の距離が小さくできないか調べる。 $Y8=100$ では制約に矛盾がないので解としては成立するが、乖離距離は 2 となり、初期解の乖離距離を更新することができない。よって解の改良は失敗と判断し、他の仕様階層にバツ

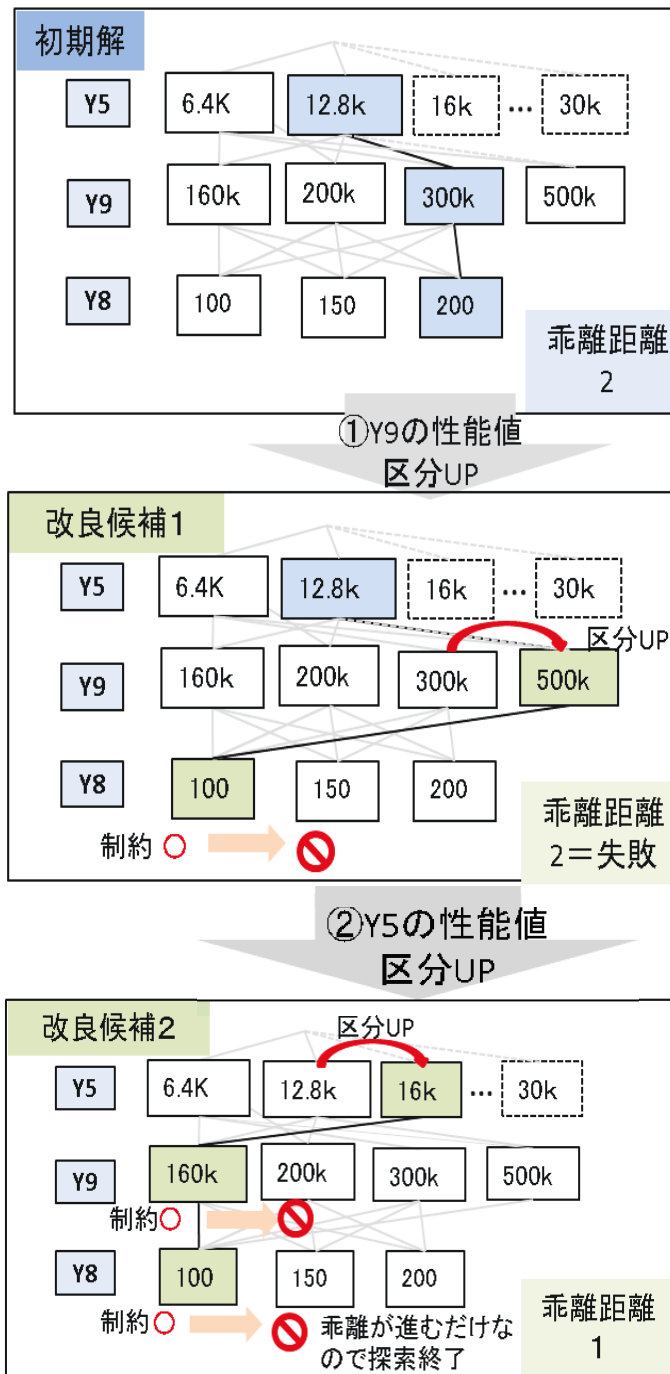


図 4.7 バックトラックによる解の改良

クトラックをかけ改良を続行する。次に（最上位階層の）Y5 の性能値区分を 12.8 k から 16 k に 1 ランクアップすることで下層の Y8, Y9 の距離が小さくできない

か調べる。Y9=160k、Y8=100 の時、乖離距離は 1 となり、最小乖離距離を更新できる。仕様値はこれ以上右にずらす（区分をアップする）と乖離距離が増えるばかりで最小乖離距離を更新することができないことが事前に判定できるので、この時点で探索を終了する。改良解は、Y5=16K、Y9=160 k、Y8=100 の最適解として導出される。このように、最小乖離距離の更新可能性を見ながら探索木の枝刈りを実施して、最適解に至る探索回数を最小限に抑える処理とした。

最上位階層（図中は Y5）まで解の改良を行った時点で探索を終了する。

4.3 設計ロジックの評価

(1) 初期解探索

4.2 節 (1) で提案した製品仕様値の割り当てを行う際の、製品機能仕様項目の決定順序番による探索回数を検討する。バックトラック法による探索において、制約式を満たす機能仕様項目の性能値を発見するまでの探索回数および処理時間を評価する。

製品機能仕様項目の属性値を決定するにあたって、1 つのタイプ 1 の制約式のみによって決まる製品仕様項目の製品仕様値は必ず存在し、その値を一意に決定することができる。ここでは、3.2 節で作成した制約式の中でタイプ 2、タイプ 3 の制約式によって製品機能仕様値を決める、もしくは複数の制約式によって製品機能仕様値を決める複雑な用途仕様、製品機能仕様、制約条件を対象に、与えられた製品機能仕様で用途仕様を実現することができるか判断を行った。

具体的には、3.3 節で作成した制約式のうち制約式間の繋がりの特に多い 5 つの制約式とそれに関係する 8 つの用途仕様項目、9 つの製品機能仕様項目を抽出し製品仕様値決定方法の検討の対象とした。抽出した用途仕様項目、製品機能仕様項目、制約式とそのつながりを図 3.13 に示した。図 4.8 に評価に用いた製品機能仕様の性能値一覧を示す。

図 4.8 にて与えた製品機能仕様性能値の組み合わせはおよそ 1.2×10^7 通り存在する。今回はバックトラック法による探索を行うことで、膨大な組み合わせの中から解を見つけるまでに何回探索を行う必要があるのか検証する。ここで、探索回数とは性能値の組合せを変えた回数を意味する。

			性能値区分									
製品機能仕様項目			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y1	最大並行穴明処理数	本	1	2	3	4	5	6				
y2	ワーク交換方式	-	1	0.75	0.5	0.25						
y3	X軸最大移動速度	mm/min	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	110000	120000
y4	Y軸最大移動速度	mm/min	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	110000	120000
y5	Z軸最大移動速度	mm/min	6400	9600	12800	16000	19200	22400	25600			
y6	主軸最大送り速度	mm/min	100	300	500	700	900	1100	1300	1500	1700	1900
y7	加工できるワークの寸法(Z)	mm	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2	2.4	3.2	
y8	主軸のZ軸方向移動距離	mm	35	40	45	50	55	60				
y9	主軸最大回転数	rpm	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	110000	120000	130000

製品機能仕様項目			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
y1	最大並行穴明処理数	本										
y2	ワーク交換方式	-										
y3	X軸最大移動速度	mm/min										
y4	Y軸最大移動速度	mm/min										
y5	Z軸最大移動速度	mm/min										
y6	主軸最大送り速度	mm/min	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3500	3700	
y7	加工できるワークの寸法(Z)	mm										
y8	主軸のZ軸方向移動距離	mm										
y9	主軸最大回転数	rpm	140000	150000	160000	170000	180000	190000	200000			

図 4.8 評価に用いた製品機能仕様の性能値一覧

その際に、制約式との関連度を考慮しない仕様値設定順序とした探索ケースを作成し、比較することにより制約の関連度による仕様値決定の効果を確認した。

2 種類の割当順序に対して、Excel マクロを用いて図 4.3 に示したバックトラック法のアルゴリズムに従って製品機能仕様値の割当を行った。その際に、設定した範囲内の用途仕様値 100 件発生させ、その用途仕様項目に対してバックトラック法による製品仕様値の割り当を行った。ただし、用途仕様項目 X 軸総移動距離、Y 軸総移動距離については、穴の数、及び基板の寸法(X)、基板の寸法(Y)の値から算出を行った。その結果、100 件中、35 件の用途仕様値に対して製品機能仕様の性能値が割り当てられた。バックトラック法はアルゴリズムの完全性が保証されているため、割り当てが行われなかった 65 件の用途仕様値に関しては、用途仕様値に対して制約を満たすような製品機能仕様値が存在しないことを示している。これらの用途仕様値に対しては、入力が行われる段階で、入力可能な用途仕様値

の提示機能と変更が必要な用途仕様項目の提示機能を用いることで対応が可能となると考える。

35 件の製品仕様値が割り当てられた用途仕様値における、割当までに行われた探索回数および初期解生成時間を表 4.1 に示す。

表 4.1 制約の関連度による仕様値決定の効果

No	仕様値設定順序	平均探索回数(回)	最大探索回数(回)	平均初期解生成時間(分)	最大初期解生成時間(分)
1	制約との関連度を考慮しない	929,622	6,634,639	4.83	34.5
2	制約との関連度を考慮	25,069	155,649	0.13	0.81

制約式と関連度の高い機能仕様項目から優先して値の割り当てを行なうことにより、97%少ない探索回数で解を導出できることが確認できた。

(2) 初期解の改良

次に、初期解の改良について、初期解の乖離距離と改良後の乖離距離の比較を行った。前述の実験条件と同じく 35 セット割り当てられた製品機能仕様項目の性能値に対して、改良解生成の探索回数と乖離距離の改善率（式（4-5））を求めた。表 4.2 に結果を示す。

$$\text{乖離距離改善率} = 1 - \text{改善乖離距離} / \text{初期解乖離距離} \quad (4-5)$$

35 件のうち、初期解の改良を実施しなかった（初期解が最適解であった）ケースが 22 件であり、残り 13 件については、平均探索回数 2900 回、平均乖離距離改善率 16.7%にて解の改良がなされたことを確認した。

表 4.2 初期解の改良評価（乖離距離改善と探索回数）

N0	探索 回数	乖離 距離改善	乖離距離 改善率(%)	探索時間(分)
1	66	1	8.33%	0.000343
2	72	7	7.14%	0.000374
3	90	2	15.79%	0.000468
4	99	1	4.17%	0.000515
5	109	9	27.78%	0.000567
6	117	4	21.74%	0.000608
7	120	5	8.70%	0.000624
8	207	8	29.63%	0.001076
9	3416	1	5.56%	0.017763
10	3517	3	26.92%	0.018288
11	6704	4	22.22%	0.034861
12	6716	1	18.18%	0.034923
13	16783	5	20.45%	0.087272
22件	0	0	0.00%	0.000000

（3）処理時間の評価

初期解の導出時間および解改良時間を合わせても、最大でも1分未満に収まり、顧客との商談シーンで使用可能な性能であることが確認できた。

第5章 受注計画ロジックの開発

受注計画では、生産計画により設定された機能仕様・性能値毎の目標台数に対して、利用可能な部品在庫を配分し、目標受注台数に最も近い受注可能台数を設定する。受注可能台数の設定問題は「資源制約付きの生産計画問題」として線形計画法などの基本算法が適用可能である。そこで、部品在庫数と部品所要量の制約式を用いて整数計画法により受注可能台数を最大化した解を導出できる設定ロジックを開発した。提案の設定ロジックは部品が不足する状況で基準以上に台数が確保できる。

5.1 研究課題と従来研究

(1) 研究課題

受注がより多く取れるための性能値区分ごとの受注可能台数を部品在庫制約を考慮し最適化する

(2) 従来研究

受注計画の設定問題は「資源制約付きの生産計画問題」に該当する。線形計画法などの基本算法が適用可能である[48]。性能値区分単位の受注可能台数を最大化するための制約式の工夫が必要である。

先行研究では、部品在庫の消費バランスを考慮した推奨仕様情報を生成し、営業に販売促進させる方式の報告[26]があり、本研究の参考にした。ノートパソコンなどを対象として、在庫部品の過不足が最小になる製品仕様の導出を線形計画法を用いて行い、部品在庫のバランスが取れるような製品仕様を生成し、営業から顧客に提案する仕組みである。これらは量産品（製品品種単位の管理）を対象としており、本研究が対象としている機能仕様・性能値の単位で需要や在庫との対応をとることは行っていない為、そのまま適用することはできない。

5.2 受注計画の概要

受注計画では、機能仕様・性能値区分毎に設定された目標台数に対して利用可能な部品在庫を配分し、目標受注台数に最も近い受注可能台数を設定する。図 5.1 に概要を示す。

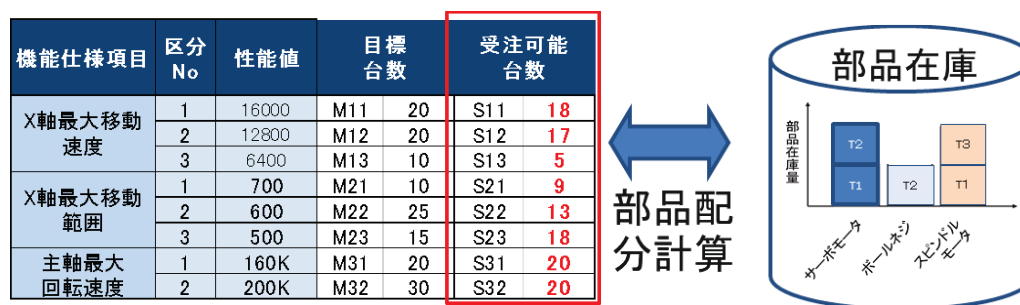


図 5.1 部品利用効率を最大化する受注可能台数の設定

対象である受注可能台数は整数の決定変数である為、整数計画法を用いることにした。与えられた目標受注台数に対して、部品在庫制約を考慮し受注可能台数を最大化するロジックを整数計画法を用いて実現する。

図 5.2 に整数計画法を用いた機能仕様値毎の受注可能台数の最大化の概要を示す。

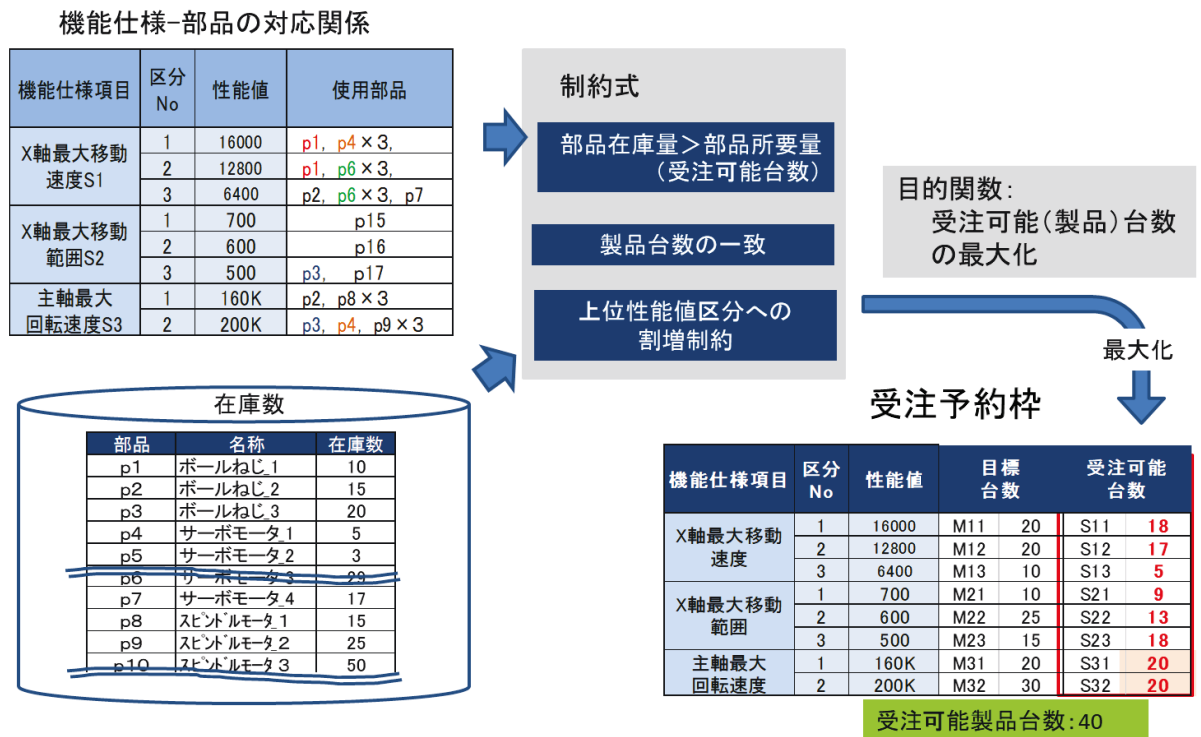


図 5.2 整数計画法を用いた機能仕様値毎の受注可能台数の最大化

機能仕様-部品の対応関係から得られる部品所要量と部品在庫数との関係を示す制約式を用いて受注可能台数を最大化する。

(1) 入力データ

図 5.3 に入力データを示す。

- ①目標台数 生産計画として設定してある性能値区分毎の目標受注台数
- ②機能仕様-部品の対応関係 性能値区分毎に必要なとなる部品種類を定義
- ③部品在庫量 部品種類毎の利用可能在庫数

目標台数 M_{ij}

機能仕様 項目 i	性能値 区分 j	目標 台数 M_{ij}
X軸最大 移動速度 mm/min	16000	20
	12800	20
	6400	10
X軸最大 移動範囲mm	700	10
	600	25
	500	15
主軸最大 回転速度 rpm	160K	20
	200K	30

機能仕様-部品の対応関係 β_{ijx}

機能仕様 項目 i	性能値 区分 j	使用部品種類 P_x					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
X軸最大 移動速度 mm/min	16000	1	—	—	3	—	—
	12800	1	—	—	—	—	3
	6400	—	1	—	—	—	3
X軸最大 移動範囲mm	700	—	—	—	—	—	—
	600	—	—	—	—	—	—
	500	—	—	1	—	—	—
主軸最大 回転速度 rpm	160K	—	2	—	—	—	—
	200K	—	—	1	1	—	—

部品在庫 Inv_x

部品	名称	在庫数
p1	ボールねじ_1	10
p2	ボールねじ_2	15
p3	ボールねじ_3	20
p4	サーボモータ_1	5
p5	サーボモータ_2	3
p6	サーボモータ_3	29
p7	サーボモータ_4	17
p8	スピンドルモータ_1	15
p9	スピンドルモータ_2	25
p10	スピンドルモータ_3	50

図 5.3 受注可能台数の最大化計算の為の入力データ

[図 5.3 の使用記号]

i :機能仕様項目番号 $i \in \{1, 2, \dots, N\}$

j :性能値区分番号 (番号が小さいほど上位性能) $j \in \{1, 2, \dots, a_i\}$

a_i :機能仕様項目 i の性能値区分数

x :部品種類番号, $x \in \{1, 2, \dots, M\}$

β_{ijx} :機能仕様項目 i の性能値区分 j が部品種類 x との関係

必要する場合 ≥ 1 、さもなくば 0

M_{ij} :機能仕様項目 i の性能値区分 j の目標台数

Inv_x :部品種類 x の在庫量

(2) 出力データ (操作変数)

機能仕様項目の性能値区分毎の受注可能台数を出力する。

操作変数 : S_{ij} : 機能仕様項目 i 性能値区分 j の受注可能台数

5.3 計画ロジックの設計

整数計画法を用いて最適化計算を行うための目的関数と制約条件を示す。

(1) 目的関数

目的関数：受注可能な製品台数の最大化である。ここで製品台数とは、機能仕様項目内の性能値区分毎の受注可能台数の総和である。

$$\text{Max} \left(\sum_j S_{1j}, \sum_j S_{2j}, \dots, \sum_j S_{Ij} \right) \quad (5-1)$$

i : 機能仕様項目No. $i \in I$ j : 性能値区分No. $j \in N_i$
 N_i : i 番目の仕様項目の性能値区分数

(2) 制約条件

以下の3種類の制約式を定義する。

①部品在庫の制約

性能値区分毎の部品量所要量合計は部品在庫数以内でなければならない。

$$\sum_i \sum_j (S_{ij} \times \beta_{ijx}) \leq \text{Inv}_x \quad \forall x \in \{1, 2, \dots, M\} \quad (5-2)$$

β_{ijx} : 機能仕様項目 i の性能値区分 j が部品種類 x との関係。

必要とする場合 ≥ 1 、さもなければ 0

Inv_x : 部品種類 x の在庫量

②製品台数の一致

機能仕様項目毎に、その合計受注可能台数が一致しなければならない。

$$\sum_j S_{ij} = \sum_j S_{i+1,j} \quad \forall i < N \quad (5-3)$$

機能仕様 項目 i	性能値 区分 j	受注 可能枠 S_{ij}	
×軸最大 移動速度 mm/min	16000	18	40
	12800	17	
	6400	5	
×軸最大 移動範囲mm	700	9	40
	600	13	
	500	18	
主軸最大 回転速度 rpm	160K	20	40
	200K	20	

図 5.3 製品台数の一致制約

③上位性能値区分への割増制約

受注可能台数の合計は目標を達成したとしても、下位の性能値区分ばかり受注可能になっていたのでは要求に合う性能値区分が不足してしまう為、注文がとれない。

そこで、原則は区分毎の目標台数を越えてはいけないが、下位性能値区分の台数が目標未達の場合に、その不足分を上位に足して良い、という制約を与える。

$$S_{ij} \leq M_{ij} + (\sum_{j+1}^{a_i} M_{ij} - \sum_{j+1}^{a_i} S_{ij}) \quad \forall 1 \leq j < a_i \quad (5-4)$$

$$S_{ij} \leq M_{ij} , \quad j = a_i \quad (5-5)$$

図 5.4 に割増制約の説明を行なう。ケース 1 では S13 のケース 2 では S12 の受注可能台数が目標台数を超過している。この場合 (5-5) 式により NG となるが、ケース 3 およびケース 4 では下位の性能値区分が目標未達であるので (5-4) 式に

より上位の性能値区分の台数に不足分だけ割増を許す。

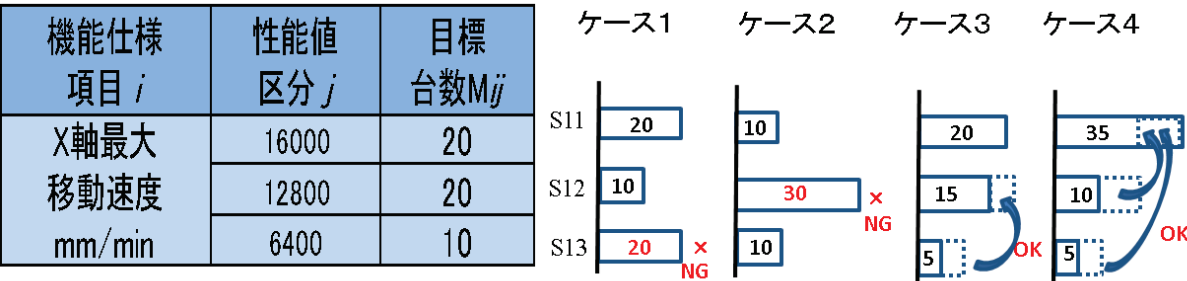


図 5.4 上位性能値区分への割増制約

5.4 計画ロジックの評価

整数計画法を用いた受注可能台数設定ロジックの有効性を検討する。部品在庫の制約のもと、どれだけ多くの受注可能台数が生成できたかを評価するが、評価の観点としては、必要量に対して部品が不足した状況で受注可能台数が増加できたかを評価する。

部品在庫が不足した状況では、部品不足により目標台数の達成率に限界線を引くことが出来る。そこで、限界線を越えてどれだけ台数を増加できたかを、受注可能台数増加率という指標で評価する。

$$\begin{aligned} \text{受注可能台数増加率} &= \text{上位互換性を考慮した目標達成率} \\ &\quad - \text{部品不足による目標限界達成率} \quad (5-6) \end{aligned}$$

部品の不足率を変化させた3ケースについて整数計画法ソルバにより受注可能台数を最大化計算し、受注可能台数増加率を評価した。

評価実験に用いた性能値区分および部品構成データを図5.5に、左記データを基に受注可能台数を最適化計算し受注可能台数増加率を求めた結果を図5.6に示す。尚、制約式③については、「受注可能台数 S_{ij} は目標台数 M_{ij} を超えてはならない」という(5-4)式のみを制約として与え、より厳しい条件で計算を行った。

実験条件：

性能値区分数：43

部品種類数：22

検証期数：24期

部品在庫データ：

- ・不足部品種類数：2種類（全体の10%）

- ・必要量に対する不足率 10%、20%、50%
- ・他の部品は過剰在庫 過剰率 10%

P1 ボールネジ

F1 x軸方向稼働可能範囲						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1	2	3	4	4	5	5

F4 y軸方向稼働可能範囲						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1	2	3	4	4	5	5

F7 z軸方向稼働可能範囲			
S1	S2	S3	S4
1	2	3	4

P2 サーボモータ

F2 x軸方向最大移動速度			
S1	S2	S3	S4
1	2	3	4

F5 y軸方向最大移動速度			
S1	S2	S3	S4
1	2	3	4

F8 z軸方向最大移動速度		
S1	S2	S3
1	2	3

P3 軸継手

F2 x軸方向最大移動速度			
S1	S2	S3	S4
1	2	3	4

F5 y軸方向最大移動速度			
S1	S2	S3	S4
1	2	3	4

F8 z軸方向最大移動速度		
S1	S2	S3
1	2	3

P5 基盤固定台

F1 x軸方向稼働可能範囲						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1	1	2	2	2	3	3

P4 位置測定・補正装置

F3 x軸方向位置決め精度			
S1	S2	S3	S4
1	2	2	3

F6 y軸方向位置決め精度			
S1	S2	S3	S4
1	2	2	3

P6 スピンドル

F9 回転速度			
S1	S2	S3	S4
1	1	2	2

P7 エアドライヤ

F10 乾燥機能	
S1	S2
1	N

図 5.5 性能値区分および部品構成データ

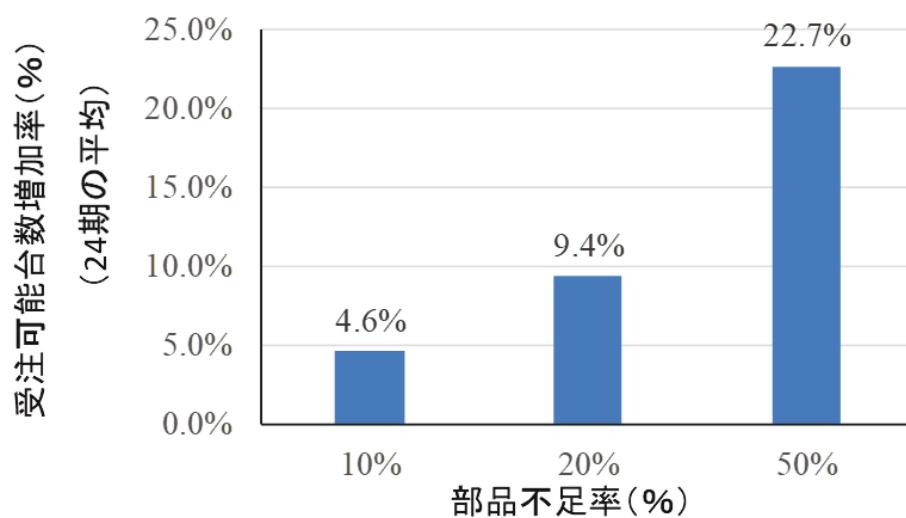


図 5.6 受注可能台数の検証 部品不足率と受注可能台数の関係

図 5.6 から、現実的な部品不足種数（10%程度）、不足量の領域で、受注可能台数を増やす効果がある。また、部品充足率が悪いほど、最適化計算の効果が発揮され台数設定の増加が可能であることが確認できた。

第6章 提案した受注方式の効果見積

6.1 受注予約枠による受注率向上効果シミュレーション

受注予約枠による受注率向上の効果試算を実施した。予測誤差を需要データを生成しておき、需要見積に基づく受注予約枠データを生成し、注文シミュレーションを行うことで受注・失注の率を求め、受注率向上の効果を測定した。

(1) シミュレーションケース

- 1) 受注予約枠を用いない：注文到着順に部品単位で在庫引当を行い、部品在庫があれば受注と判定する
- 2) 受注予約枠を用いる①：ベース仕様に固定し性能値区分単位で予約枠に引当てる。予約枠に受注可能台数があれば受注となる。
- 3) 受注予約枠を用いる②：①のベース仕様に加え上位性能値区分も引き当ての対象とする。なお、ベース仕様から1区分性能値が上がる毎に10%ずつ受注確率が下がる

(2) 実験条件

性能値区分数：11

部品種類数：15

検証期数：20期

在庫データ

- ・不足部品種類数：2種類（全体の10%）
- ・必要量に対する不足率 20%
- ・他の部品は過剰在庫 過剰率10%

需要データ

需要（引合）：平均25台/週 予測誤差：20%

図6.1に性能値区分および部品構成データを示す。

P1 z軸用ボールネジ

F1 x軸方向稼働可能範囲					
S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	2	3	4	5	6

P2 z軸用サーボモータ

F2 z軸方向最大移動速度		
S1	S2	S3
1	2	3

P3 z軸用軸継手

F2 z軸方向最大移動速度		
S1	S2	S3
1	2	2

P4 z軸用位置測定・補正装置

F3 z軸方向位置決め精度		
S1	S2	S3
1	2	3

P5 エアドライヤ

F4 乾燥機能	
S1	S2
1	N

図 6.1 性能値区分および部品構成データ

需要データは、下記に示す実需データを作成しておき、これに予測誤差を与えて、受注計画を作成した。

1) 実需データ

- ①需要台数：平均 100 台/月（25 台/週）とし、+30%、－10%の範囲で需要が変化する。
- ②性能値区分比率：製品機能仕様項目毎に区分の平均比率を定義しておき、予め定義してある最大、最小値の範囲でランダムに比率を変える。

図 6.2 に性能値区分比率の実需発生データを示す。

区分重み付け, 標準偏差							標準偏差	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	最大	最小
F1	5%	10%	35%	35%	10%	5%	1.5	0.5
F2	25%	50%	25%				1.5	0.5
F3	25%	50%	25%				1.5	0.5
F4	50%	50%					1.5	0.5

※F: 機能機能項目 (Features), S: 性能値区分 (Specifications)

図 6.2 性能値区分比率

- ③注文データ：上記①②を掛け合わせ、週ごとの仕様値区分の顧客要求を生成する。各注文には要求納期情報を付加する。注文発生時から向こう 5 週～12 週の範囲で要求納期が変動する。

2) 需要予測誤差

下記の予測誤差を与えた。

- ①需要台数：+20%－10%の範囲の一様分布にて平均月台数を変動させる。
 ②性能値区分比率：下記の表に従い、±20%の範囲で性能値区分比率に誤差を持たせた。

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
F1	20%	20%	20%	20%	20%	20%
F2	20%	20%	20%			
F3	20%	20%	20%			
F4	20%	20%				

図 6.3 性能値区分比率の誤差

(3) シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 6.4 に示す。

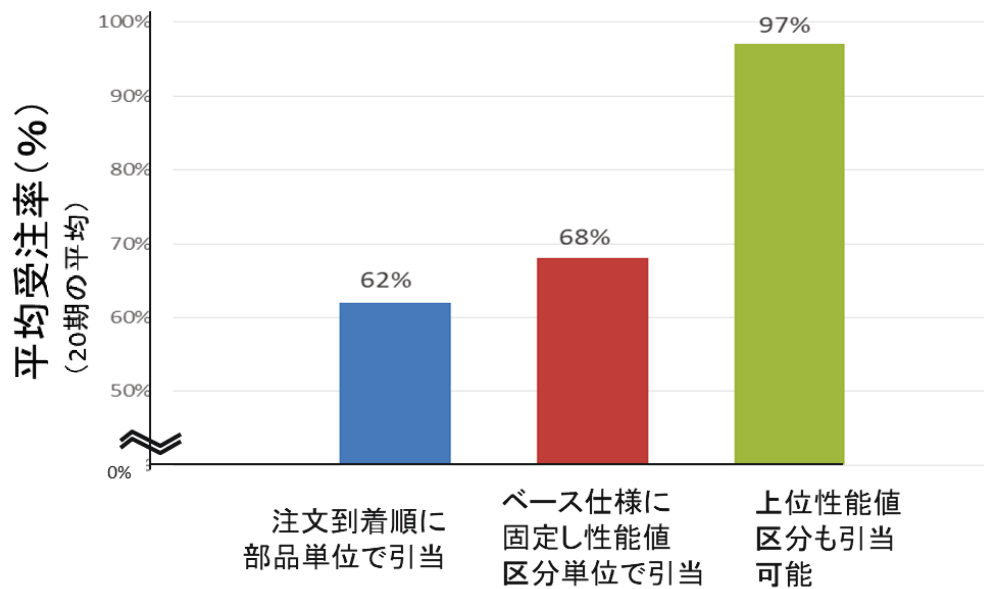


図 6.4 受注予約枠を用いた受注率向上効果

受注予約枠を活用することで、30%以上の受注率向上が図れることが確認できた。

注文到着順に部品単位で引当（現状に相当）とベース仕様に固定し性能値区分単位で予約枠を引当とでは、約6%の受注率差異がある。これは受注予約枠を計画する際に、予め想定される注文を予測して必要な部品を確保した効果（注文の選択による効果）と考えられる。また、上位性能値区分も引当可能にした場合とベース仕様に固定した引当の差は30%弱あるが、これは複数仕様の選択が出来ることによる受注率向上効果である。

6.2 受注方式の効果見積

提案した受注方式の総合的な予測効果を纏める。

(1) 受注プロセス LT 短縮効果

複数部署に跨り従来3か月かけて行っていたニーズ把握～仕様・納期回答の受注プロセスのLTを、営業単独で1週間に短縮可能である。

図6.5に示した通り、顧客への提案納期はLT短縮分短くすることができ、従来対応できなかった短納期引合の45.5%に対応できるようになると見込まれる。

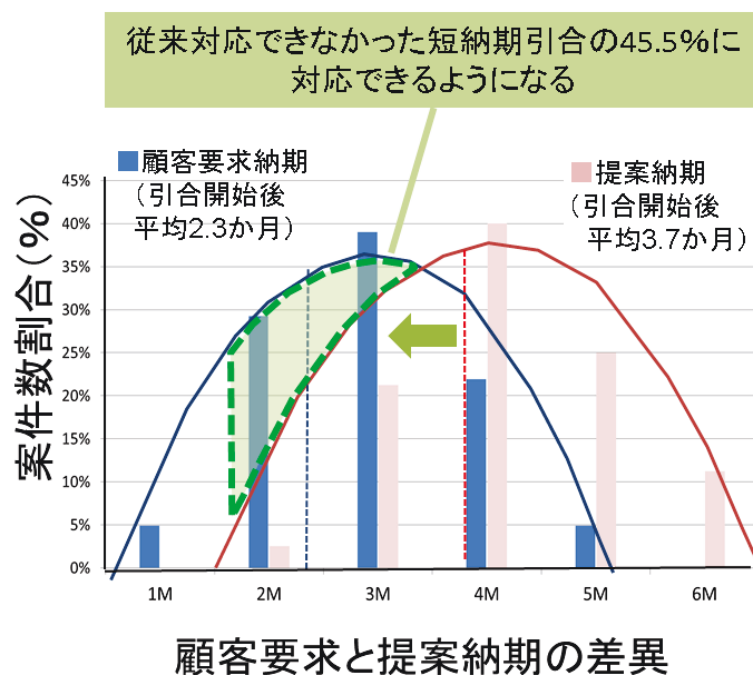


図 6.5 受注プロセス LT 短縮効果

(2) 部品不足による失注の抑止

図6.6に示す通り、従来、部品不足により対応できなかった、あるいは受注後に部品欠品トラブルとなった割合は、全体の19.4%（約20%）である。

図6.4より、受注予約枠を用いることにより失注率は38%から3%に約1/10化できると推定できるので、現状「部品問題」で受注に支障があった19.4%の案

件割合は、2%以下に下げられると考えられる。

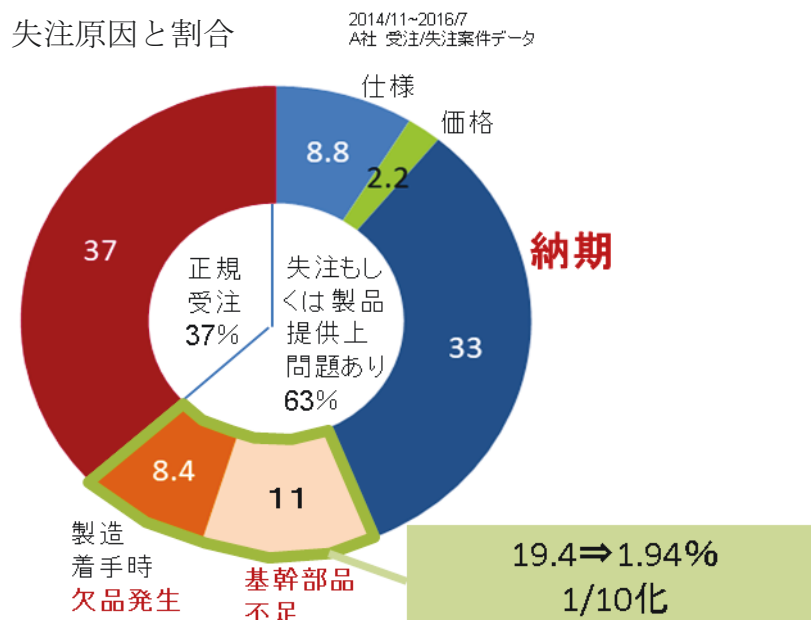


図 6.6 受注予約枠の活用効果

(1) に示した LT 短縮効果を受注率に換算することは難しいが、今回新たに対応できるようになった 43% の案件も含め、97% の確率で受注できるようになると仮定すると、従来、失注原因の約半分を占めていた納期が合わない 33% と部品不足で対応できない 19.4% の合計 52.4% を 5 割程度縮小できる、即ち、受注率を倍増することができる考える。

第 7 章 結論

7.1 研究の結論

本研究では、工作機械の部品仕込型 ET0 生産において、受注率向上に寄与する受注方式を提案した。

(1) 受注仕様設計方式：

顧客要求に応じた仕様提案を営業一人で自動的に行える設計方式を開発した。

顧客との打ち合わせ時間内にベースとなる受注仕様を提案することが可能である。

(2) 受注予約方式：

生産リソースの効率的利用を考慮し、受注が最大にとれるように注文選択した受注目標（計画）を事前に作成しておき、(1) の出力（ベース受注仕様）を入力として、営業が受注仕様の選択を容易に行うことが可能である。

提案した受注方式により、従来 3 か月かかっていた受注プロセスの LT を 1 週間に短縮可能であり、従来対応できなかった短納期引合に対応できるようになる。また、在庫部品の活用効率を上げることで 3 割程度の受注率向上が見込まれる。

受注プロセス LT の短縮と部品の活用効率向上の効果を合計すると受注率の倍増が期待できる。

以上、本論文で述べた部品仕込型 ET0 生産における受注方式は、工作機械の事例の範囲ではあるが、受注プロセスの短 LT 化および在庫部品の有効活用した受注仕様提案により、受注率の向上に寄与でき、本研究の目的を達成可能と考える。

本論文は以下のように構成した

第1章の背景では、工作機械に代表される産業機械製品の重要性、製品の特徴、および、部品仕込型 ETO 生産の課題について述べた。

第2章では、部品仕込型 ETO 生産に関する従来研究を整理し、本論文の位置づけを明らかにするとともに、工作機械メーカーの事例データを用いた受注プロセスの問題点の分析および解決策の検討を行い、受注プロセスの営業一元化、受注仕様設計の自動化、受注仕様選択の簡素化と事前計画化が必要であることことを示した。また、解決策を実現する 1) 受注仕様設計方式 2) 受注予約方式 から成る受注方式の基本設計について述べた。

第3章では、製品仕様設計知識について、顧客ニーズの定義方法（用途仕様）の体系化を図り、仕様項目間の関係規則を制約ネットワーク形式を用いて体系化した。顧客ニーズ（用途仕様）の設計では、対象製品領域（工作機械）に関するニーズ情報を抽象化、5W1H の観点からのカテゴライズ、カテゴリー毎のニーズ情報と機能仕様項目とを突合せ、必要十分性を確認しながら用途仕様を定義する手順で体系化を図り、回路基板穴明加工機の場合、6 カテゴリー 24 項目の用途仕様を定義することができた。また、用途仕様と製品機能仕様との対応関係等を考慮して、各用途仕様に対して実現可能な範囲（最小値と最大値）を設定し、実現不可能な用途仕様値を検出できるようにした。

用途仕様と製品機能仕様の対応関係を制約ネットワーク形式により体系化し、回路基板穴明加工機では、3 タイプ 22 種類の制約式を抽出することができた。22 種類のうち 5 種類の制約式は、複数の用途仕様値によって複数の機能仕様値が決まるタイプであり、複数の制約式によって値が決まる機能仕様項目も存在している為、仕様値の決定は複雑であることが分かった。

第4章では、ベース受注仕様の設計ロジックの開発について述べた。「機能・性

能の上位互換性」を前提に、顧客の要求を満足する（最も低コストな）仕様をベース仕様として出力する。入力された用途仕様値に対して、機能仕様項目を順次に、性能が低い仕様値から制約式を満たせるか深さ優先探索にて解を求める。なお、目的関数は、最下位性能値との乖離距離の最小化とした。得られた初期解に対して、バックトラック方式による解の改善探索を行うことにより、低コストな仕様をベース仕様として探索できる。さらに、処理時間を短縮する為に、制約式との関連度の高い仕様項目順に値の探索を行なうようにし、探索回数を少なくする工夫をした。1.2×10⁷通りの解候補がある工作機械の事例では、解が1分以内に導出できることを確認した。

第5章では、受注予約方式の要となる受注計画ロジックの設計を行い、部品在庫を保証する受注可能台数の設定ロジックの詳細および性能について示した。受注可能台数の設定問題は「資源制約付きの生産計画問題」として線形計画法などの基本算法が適用可能である。そこで、部品在庫数と部品所要量の制約式を用いて整数計画法により受注可能台数を最大化した解を導出できるようにした。提案の設定ロジックは部品が不足する状況で基準以上に台数が確保できることを確認した。

第6章では、提案した受注方式の全体の効果見積について示した。誤差を伴う注文データを発生させた受失注シミュレーションを行ない、受注予約枠を用いて受注仕様・納期を見積る提案方式と、従来方式（受注予約枠を用いずに注文の到着順に逐次部品引当を行う）との比較を行い、受注率が30%程度向上可能なことを確認した。また、受注プロセスのLTを1週間に短縮することにより、従来対応できなかった45%の短納期引合に対応できるようになる。

7.2 今後の課題

本研究にて提案している受注方式を実製品向けに実装、適用し、効果の検証を図る。また、本研究では、受注製品仕様提案における「仕様」「納期」を対象に検討を進めたが、今後は、さらに「コスト/価格」を評価の要因に取り上げ、製品コストと製品機能仕様の関係を明らかにし、利益最大化が図れる受注方式への拡張を図る。

＜参考文献＞

- [1]みずほ銀行産業調査部：“特集：日本産業の動向（工作機械）” みずほ産業調査 53, 2015
- [2]日本機械輸出組合：“日米欧アジア機械産業の国際競争力” 2013
- [3] Bertrand, J.W.M., and Muntslag, D.R. (1993) ‘Production control in engineer-to-order companies’, *International Journal of Production Economics*, Vol.30, No.31, pp. 3-22.
- [4] Amaro, G. (1999) ‘Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies’, *International Journal of Operation and Production Management*, Vol. 19, No.4, pp. 349-371.
- [5] Gosling, J. and Naim, M.M. (2009) ‘Engineer-to-order supply chain management : A literature review and research agenda’, *International Journal of Production Economics*, Vol. 122, pp.741-754.
- [6] Gelders, L.F. (1991) ‘Production control in an “engineer-to-order” environment’, *Production Planning & Control*, Vol. 2, No. 3, pp. 280-285.
- [7] Hicks, C. and Braiden, P.M. (2000) ‘Computer-aided production management issues in the engineer-to-order production of complex capital goods explored using a simulation approach’, *International Journal of Production Research*, Vol.38, No.18, pp.4783-4810.
- [8] Grabenstetter, D. H. and Usher, J. M. (2013) ‘Determining job complexity in an engineer to order environment for due date estimation using a proposed framework’, *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No.19, pp. 5728-5740.
- [9] Weng, J., Akasaka, S. and Onari, H. (2014) ‘Acquiring orders using requirement specifications for engineer-to-order production’, *Japan Industrial Management Association*, Vol. 64, No. 4E, pp. 620-627.
- [10]日野三十四：「実践モジュラーデザイン」，日経 BP 社，2009
- [11]Schwarze.S.：“Specification Mapping -The Integration of Customer Requirements within a Product Configuration-,” Proceedings of the ASME Energy Sources Technology Conference and Exhibition (ETCE 94), Symposium on Software System in Engineering, Vol.67, pp.209-216 (1994)
- [12]新野秀憲，橋詰等：“工作機械の製品開発方法論(製品企画のための製品評価方法の一提案)”，日本機械工学会論文集(C 編), Vol.64, No.636, pp.399-304 (1999)

- [13]マイケルデル：「デルの革命「ダイレクト」戦略で産業を変える」，日本経済新聞社，2000
- [14] 小林義和，坪根斉，“多段階工程における生産座席システムの設計に関する研究”，日本経営工学会論文誌，Vol.53, No.4, pp.273-281, 2002
- [15] Hitoshi Tsubone, Kobayashi Yoshikazu, “Production seat booking system fro the combination of make-to-order and make-to-stock products”, PRODUCTION PLANNING & CONTROL, Vol.13, No.4, pp.394-400, 2002
- [16] 大場允晶，新井一貴，坪根斉，“柔軟性を組み込んだ生産座席システムに関する研究－写真用カラーフィルム製造を事例にして－”，日本経営工学会論文誌，Vol.54, No.3, pp. 177-183, 2003
- [17]Takayoshi Tamura, Seiichi Fujita, Takeo Kuga, “The Concept and Practice of the Production Seat System”, Managerial and Decision Economics, vol.18, issue.2, pp.101-112, 1997
- [18]田村隆善，藤田精一：“生産座席システムについての一考察”，経営システム，第3巻，第1号，pp.4-13 (1993)
- [19]浅野敏，小藤康男，“積層プレス工程向け座席予約型納期回答支援システム”，松下電工技報，pp.109-113, 2002
- [20]松隈良一，“情報処理機器工場における CIM 構築事例”，日本経営工学会春季大会予稿集，Vol.1990, pp. 2-10, 1990
- [21]高橋剛史，植竹俊文，堀川三好，菅原光政，“乳製品を対象とした生産座席枠システムの開発”，情報処理学会第71回全国大会(4), pp. 603-604, 2002
- [22] “アマダ、NC タレットパンチプレスの増産体制を確立”，型技術，第21巻，第2号，pp.93-96, 2006
- [23]的場秀彰，大成尚，榎本充博，“生産座席決定のための生産計画システム”，経営システム，Vol.3, No.1, pp.24-30, 1993
- [24]久我健夫，“個別受注生産に於ける生産管理システム－豊田工機座席指定システムによる負荷の平準化－”，日本経営工学会，Vol.4, No.1, pp. 20-24, 1994
- [25]下田篤，小杉秀則，狩野隆文，薦田憲久，“見積情報を先行指標として利用した受注生産製品の需要予測方式”，電気学会論文誌 C (電子・情報部門誌)，Vol.128, No.4, pp.562-568

(2008).

- [26] 下田篤, 小杉秀則, 狩野隆文, 薦田憲久, “製品の仕様代替性と部品消費バランスを考慮した受注生産製品の推奨方式”, 電気学会論文誌 C, Vol.130, No.5, pp.895-902, 2010
- [27] 清水信二「初歩から学ぶ工作機械:共通な基本構造と仕組みが分かる」,工業調査会,2009
- [28] 中野隆司, 野口国雄, 京屋祐二, “顧客要求を起点とした商品仕様を導出するための設計支援ツール”, 日本機械学会設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.11, pp163-166, 2001
- [29] 西嶋祐, 「機械加工現場診断シリーズ 2 フライス・穴加工」, 日刊工業新聞社, 1996
- [30] 横山哲男, 「NC 加工 プログラミングと活用技術」, ダイゴ社, 1996
- [31] 小和田勲, 「でか版技能ブックス⑧NC 工作機械活用マニュアル」, 大河出版, 1990
- [32] 松岡甫篁, 「実践入門シリーズー新しい穴加工技術」 (株) 工業調査会 1987
- [33] 切削加工技術便覧編集委員会編, “切削加工技術便覧”, 日刊工業新聞社, 1969
- [34] 高木清, 「よくわかるプリント配線板のできるまで」, 日刊工業新聞社, 2007
- [35] 吉川弘之: 「インテリジェント CAD (上) (下)」, 朝倉書店, 1989
- [36] Ishida, A. Arai, Y. Akasaka, S. Haga, N. Katsuta, K.,”Constraint-Based Elevator Design Support System,” CAPE’95(International Conference of Computer Applications in Production& Engineering), Beijin(1995-5)
- [37] 石田篤宏, 荒井良尚, 赤坂信悟 他 「受注設計支援システムにおける設計候補解生成方式」 精密工学会春季大会学術講演論文集 秋期 1 号 p369-p370 1994
- [38] 高木清, 「トコトンやさしいプリント配線板の本」, 日刊工業新聞社, 2012
- [39] 高木清, 「よくわかるプリント配線板のできるまで」, 日刊工業新聞社, 2007
- [40] 野辺弘道, 「プリント基板用 GFRP の小径スルーホールドリル加工における加工穴品質に関する研究」 同志社大学工学部(博士論文) 2001
- [41] 村松林太郎, “生産管理の基礎”, 国元書房, pp.144-147, 1979
- [42] 高桑宗右エ門, 三輪冠奈, “第 2 回 定期発注方式(在庫管理方式のシミュレーション・アニメーション・モデル)”, オペレーションズリサーチ, Vol.49, No.6, pp.372-379, 2004
- [43] 北野宏明, “遺伝的アルゴリズム”, 産業図書, pp.3-7, 1993
- [44] 伊庭斉志, “遺伝的アルゴリズムの基礎”, オーム社, 1994
- [45] Weng, J. Akasaka, S. Hoshino, A. Onari, H., “A Study on Value Setting of Product Functional Specifications with Consideration of Parts and Inventory Costs for Engineer-

to-Order Production”, Asian Journal of Management Science and Applications, Vol.2, No.1, pp.33-47 (2015-7)

[46]沢田浩之：“制約評価技術に基づく初期設計支援システムの開発 “，数理解析研究所講究録, 1085 巻 1999 年 49-59

[47]永井保夫：“制約充足問題における体系的探索手法の効率化についての検討”，東京情報大学研究論集 Vol.8 No.2, pp.67-78 (2005)

[48]今野 浩，“線形計画法 “，日科技連出版社,1987

＜謝辞＞

本論文は、(株)日立製作所生産技術研究所および日立ビアメカニクス(株)において、著者が約25年間にわたり関わり、普段からあるべき姿を模索していたETO生産における受注プロセス改革に関して、早稲田大学 大成尚教授のご指導を頂き、新しい受注方式の提案としてまとめたものである。

本研究の遂行と論文作成にあたっては、多くの方々のご指導とご援助を賜りました。早稲田大学 大成尚教授には、研究のアイデア出しから論文のまとめに至る全てに関して、卓越したご指導と暖かい激励を賜わり、心より感謝致します。

また、本論文のご査読を賜わり、適切なご指導とご助言を頂いた早稲田大学 高田祥三教授、吉本一穂教授、光國光七郎教授、翁嘉華准教授に深くお礼申し上げます。

共同研究者としてもご協力・ご指導頂いた翁嘉華准教授には厚く感謝申し上げます。翁准教授のご協力なしには本研究は遂行できませんでした。

大成研 M2、B4として、方式設計や検証シミュレーションを行った、高橋宗一郎氏、星野敦史氏、武井冨香氏、太田将志氏、福村莉慶氏、内藤進也氏、京野英貴氏、金崎明彦氏、溝口翔太氏の各氏にも厚く御礼申し上げます。各氏の研究成果がなければこの論文は纏まりませんでした。

研究を始める動機となる個別受注生産 TSCM 開発に上司として部下として携わった日立製作所生産技術研究所(当時)の荒井良尚氏、松崎吉衛博士、的場秀彰氏、石田篤宏氏、芳賀憲行氏、森田浩隆氏、谷口伸一氏、鈴木英明氏、下田篤博士の各氏にもこの場を借りて御礼申し上げます。

また、ビアメカニクス(株)設計本部の上長、同僚、部下、庶務を始め、仕事の関係各位に感謝致します。学位取得のために仕事が回らないことが多々ありましたが、いろいろな立場からサポートして頂きました。

最後に、著者の研究活動を日ごろから支えてくれた妻志乃、長男信太郎、長女乃莉子に感謝します。

2018年3月吉日

赤坂信悟

早稲田大学 博士（経営工学） 学位申請 研究業績書
氏 名 赤坂 信悟 印

(2017 年 12 月 27 日現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文 ○	(論文) [1]Product Functional Structure Model for Engineer-to-Order Production : A Case study on Drilling Machines, Journal of Japan Industrial Management Association, Vol.66, No.4E, pp.443-447 (2016-3), Akasaka, S. Weng, J. Onari, H. [2] A Study on Value Setting of Product Functional Specifications with Consideration of Parts and Inventory Costs for Engineer-to-Order Production, Asian Journal of Management Science and Applications, Vol.2, No.1, pp.33-47, (2015-7), Weng, J. Akasaka, S. Hoshino, A. Onari, H.
○	[3] ETO 生産における製品機能モデルに関する研究, 日本経営工学会論文誌, Vol. 66, No. 1, pp. 59-66 (2015-4) 赤坂信悟, 翁嘉華, 太田将志, 大成尚
○	[4] 生産座席方式に用いる製品グループ設定に関する研究, 生産管理, Vol.20, No. 2, pp.19-28 (2014-4) 翁嘉華, 大久保寛基, 赤坂信悟
○	[5]Acquiring Orders using Requirement Specifications for Engineer-to-Order Production, Journal of Japan Industrial Management Association, Vol.64, No.4E, pp.620-627 (2014-1) Weng, J. Akasaka, S. Onari, H.
講演	(国際会議) [1] A Proposal of Product Functional Structure Model for Engineer-to-Order Production, The 1st East Asia Workshop on Industrial Engineering, Hiroshima(2014-11), Akasaka, A. Weng, J. Onari, H. [2] A Support System for Accurately Determining Functional Specifications of Engineer-to-Order Products at Quotation Stage, The 13th International Conference of Decision Sciences Institute and the 19th Annual Conference of Asia-Pacific Decision Sciences Institute, Yokohama(2014-7), Weng, J. Akasaka, A. Onari, H. [3] A Support System for Determining Production Functional Specifications in Engineer-to-Order Environment, The 3rd Asian Conference of Management Science & Applications, Kunming(2013-12) Weng, J. Akasaka, A. Onari, H.

早稲田大学 博士（経営工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
	<p>[4] A Study on Production Seat Planning for Make-to-Order Production with Make-to-Stock Parts, The 12th International Conference of Decision Sciences Institute and the 18th Annual Conference of Asia-Pacific Decision Sciences Institute, Bali (2013-7), Weng, J. Akasaka, A. Onari, H.</p> <p>[5] A Study on Customer Requirements and Product Specifications for Engineer-to-Order Production, The 2nd Asian Conference of Management Science & Applications, Chengdu China (2012-9), Weng, J. Akasaka, A. Onari, H.</p> <p>[6] A Proposal of Product Functional Structure Model for Engineer-to-Order Production, The 1st East Asia Workshop on Industrial Engineering, Hiroshima(2014-11), Akasaka, A. Weng, J. Onari, H.</p> <p>[7] A Support System for Accurately Determining Functional Specifications of Engineer-to-Order Products at Quotation Stage, The 13th International Conference of Decision Sciences Institute and the 19th Annual Conference of Asia-Pacific Decision Sciences Institute, Yokohama(2014-7), Weng, J. Akasaka, A. Onari, H.</p> <p>[8] A Support System for Determining Production Functional Specifications in Engineer-to-Order Environment, The 3rd Asian Conference of Management Science & Applications, Kunming(2013-12), Weng, J. Akasaka, A. Onari, H.</p> <p>[9] A Study on Production Seat Planning for Make-to-Order Production with Make-to-Stock Parts, The 12th International Conference of Decision Sciences Institute and the 18th Annual Conference of Asia-Pacific Decision Sciences Institute, Bali (2013-7), Weng, J. Akasaka, A. Onari, H.</p> <p>[10] A Study on Customer Requirements and Product Specifications for Engineer-to-Order Production, The 2nd Asian Conference of Management Science & Applications, Chengdu China (2012-9), Weng, J. Akasaka, A. Onari, H.</p>

早稲田大学 博士（経営工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	<p>[1] 部品仕込製品受注生産における生産座席を用いた受注方法の提案, 日本生産管理学会第45回全国大会（2017-3）, 翁嘉華, 赤坂信悟</p> <p>[2] 部品仕込製品受注生産における部品需要変動を低減するための部品共通化方法の研究, 日本経営工学会 2015 年度春季大会（2015-5）, 赤坂信悟, 翁嘉華, 内藤進也, 京野英貴, 大成尚</p> <p>[3] ETO 生産における製品機能構造モデルに関する研究, 日本経営工学会 2014 年度春季大会（2014-5）, 赤坂信悟, 翁嘉華, 太田将志, 大成尚</p> <p>[4] ドリル式穴明け加工機の個別受注仕様の決定に用いる製品機能構造モデルの設計 日本経営工学会 2014 年度春季大会（2014-5）, 福村莉慶, 翁嘉華, 赤坂信悟, 大成尚</p> <p>[5] 座席予約方式に用いる製品グループ設定に関する一考察, 第36回日本生産管理学会全国大会（2012-9）, 翁嘉華, 赤坂信悟, 大久保寛基</p>
その他 （論文）	<p>[1] 部品仕込製品受注生産における部品所要量変動制御方法に関する研究, 生産管理, Vol. 23, No. 1, pp. 27-34（2016-4） 翁嘉華, 赤坂信悟</p> <p>[2] 製造業の経営革新を実現する PLM ソリューション -製造業の経営革新を実現する PLM の展望-, 日立評論, Vol. 86, No. 8, pp. 585-590（2004-8） 根本弘幸, 赤坂信悟, 南俊介, 谷口洋司, 時末裕充</p> <p>[3] バリアフリーを目指した生活環境造りを支援する最新のエレベーター・エスカレーター, 日立評論, Vol. 79, No. 9, pp. 701-706（1997-9） 柴田昇, 橋本和徳, 長谷川孔一, 赤坂信悟</p> <p>[4] LSI パッケージング流動解析システムに関する研究（第1報） 解析モデル合成方式の考え方と処理機構, 精密工学会誌, Vol. 61, No. 6, pp. 789-793（1995-6） 杉野和宏, 赤坂信悟, 大成尚</p>
（講演）	<p>国際会議</p> <p>[1] Parts Supply Control Method for Production Seat System of ETO firms With MTS Parts, The 3rd International Workshop on Production and Logistics, Shiga（2015-11）, Aakasaka, S. Weng, J. Naito, S. Kyouno, H. Onari, H.</p>

論文題目：部品仕込型 ETO 生産における受注方式の研究
－工作機械の生産システムを事例として－

論文題目（英語）：Study on Order Acquisition System for Engineer-to-Order
Production with MTS Parts
-A Case Study on Production System of Machine Tools -

学位申請者：
赤坂 信悟 (Shingo AKASAKA)

申請学位：
博士（経営工学）

審査分科会開催日：
年 月 日

上記の論文が博士（経営工学）の学位論文として価値あるものと認める。

審査員：
（主査）早稲田大学教授 博士（工学） 千葉工業大学 大成 尚

（署名）_____（署名日）_____年____月____日

早稲田大学教授 工学博士 東京大学 高田 祥三

（署名）_____（署名日）_____年____月____日

早稲田大学教授 工学博士 早稲田大学 吉本 一穂

（署名）_____（署名日）_____年____月____日

早稲田大学特任教授 博士（工学） 大阪大学 光國 光七郎

（署名）_____（署名日）_____年____月____日

早稲田大学准教授 博士（工学） 早稲田大学 翁 嘉華

（署名）_____（署名日）_____年____月____日